HZ BOOKS
华章教育

计 算 机 科 学 丛 书

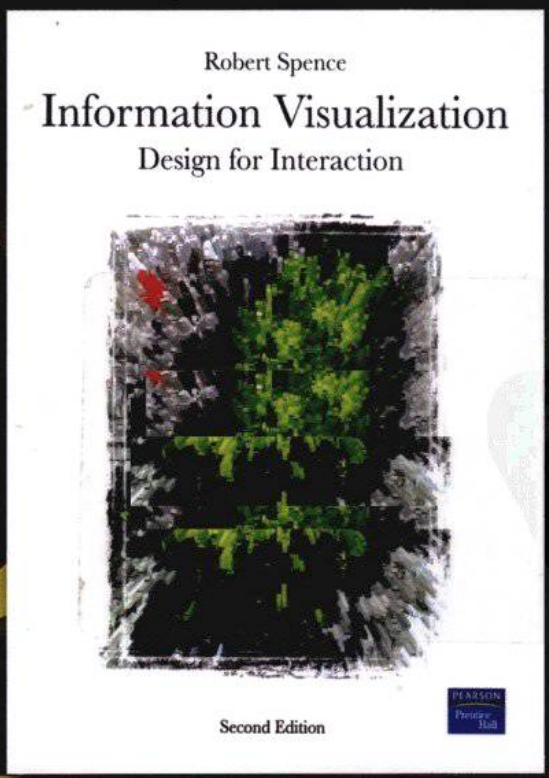
PEARSON

原书第2版

信息可视化
交互设计

(英) Robert Spence 著 陈雅茜 译
伦敦帝国理工学院

Information Visualization
Design for Interaction Second Edition



附光盘

机械工业出版社
China Machine Press

信息可视化 交互设计（原书第2版）

Information Visualization Design for Interaction Second Edition

信息可视化是计算机科学的新兴分支之一，主要利用图形图像技术对大规模数据进行可视化表示，以增强用户对数据更深层次的认知。

本书是英国著名信息可视化专家Robert Spence教授的代表作，也是世界范围内信息可视化领域最为经典的教材之一。该书结构清晰，内容丰富，案例翔实，系统地介绍了信息可视化的概念、技术和应用。通过本书的学习，读者可以了解信息可视化的基本概念和知识，同时培养可视化和交互设计的基本技能。

本书特色

- 结构清晰，内容丰富，详细介绍了该领域的主要概念及其重要性，并重点突出了数据描述、数据表示和交互这三个主要概念。
- 为读者提供大量的实例和案例分析，生动、形象地展示信息可视化的不同应用。
- 配套的PPT（英文原版）可从华章网站（www.hzbook.com）下载。



DVD中包含大量视频剪辑。

作者简介



Robert Spence 伦敦帝国理工学院信息工程专业名誉退休教授，教授电子工程和人机交互方面的课程。他目前的研究兴趣主要集中在“快速系列视觉表示”这一新颖技术。他是信息可视化领域的先驱研究者之一，提出了许多经典概念。

PEARSON

PEARSON

www.pearson.com

客服热线：(010) 88378991, 88361066
购书热线：(010) 68326294, 88379649, 68995259
投稿热线：(010) 88379604
读者信箱：hzjsj@hzbook.com

华章网站 http://www.hzbook.com

网上购书：www.china-pub.com

封面设计：锡 林

附光盘

上架指导：计算机/信息可视化

ISBN 978-7-111-36246-3

9 787111 362463

定价：59.00元（附光盘）

计 算 机 科 学 丛 书

原书第2版

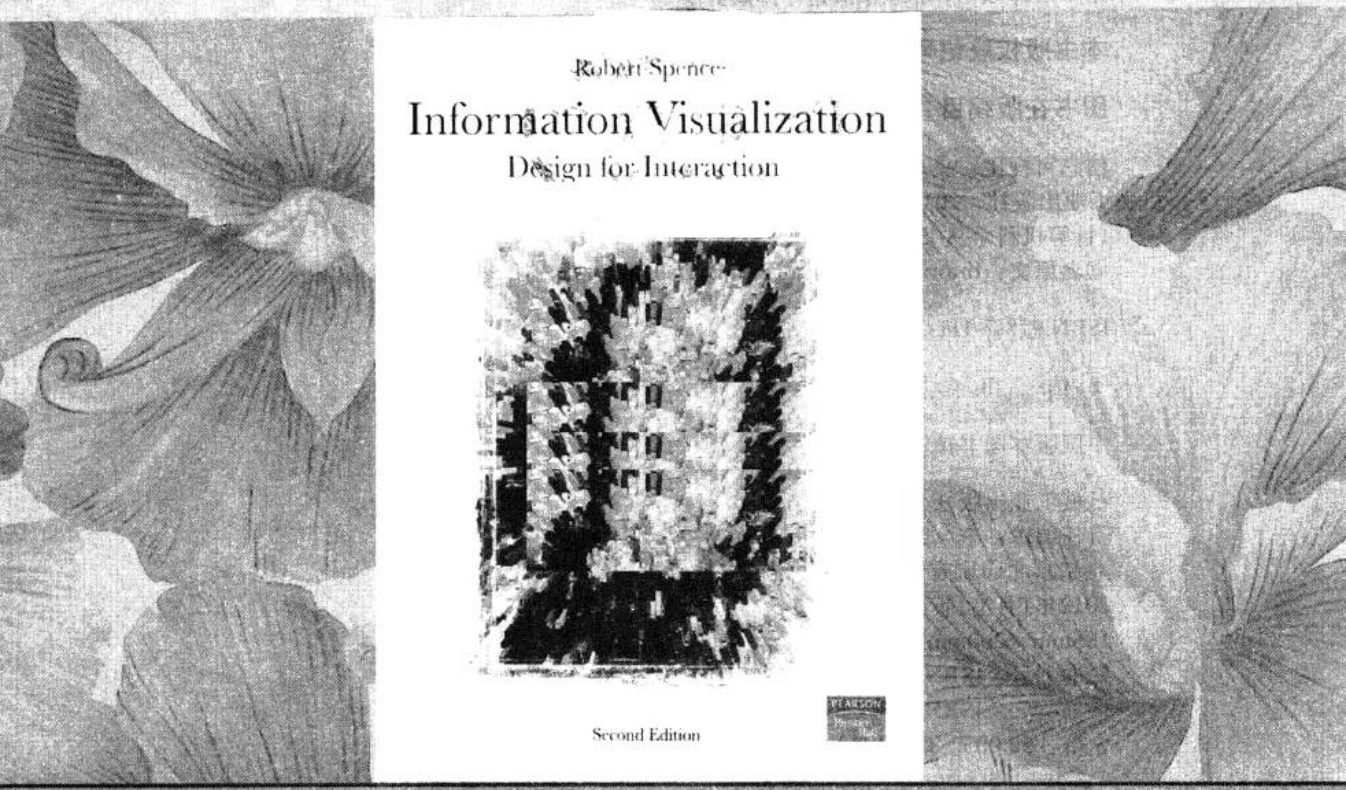
信息可视化

交互设计

(英) Robert Spence 著 陈雅茜 译
伦敦帝国理工学院

Information Visualization

Design for Interaction Second Edition



机械工业出版社
China Machine Press

本书系统地介绍了信息可视化的概念、基本技术和应用，主要内容包括：信息可视化概念及案例、信息感知及信息表示、交互式设计、多维信息可视化、图形可视化、案例分析。通过本书的学习，读者可以了解信息可视化的基本概念和知识，同时培养可视化和交互式设计的能力。

本书可以作为计算机科学及相关专业本科生或研究生教材，也可以作为相关领域研究人员和专业技术人员的参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled INFORMATION VISUALIZATION: DESIGN FOR INTERACTION, 2E, 9780132065504 by SPENCE, ROBERT, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright 2007.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and CHINA MACHINE PRESS Copyright © 2012.

本书中文简体字版由Pearson Education（培生教育出版集团）授权机械工业出版社在中华人民共和国境内（不包括中国台湾地区和中国香港、澳门特别行政区）独家出版发行。未经出版者书面许可，不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书封底贴有Pearson Education（培生教育出版集团）激光防伪标签，无标签者不得销售。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问　北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2011-4807

图书在版编目（CIP）数据

信息可视化：交互设计（原书第2版）/（英）斯彭思（Spence, R.）著；陈雅茜译. —北京：机械工业出版社，2011.12

（计算机科学丛书）

书名原文：Information Visualization: Design for Interaction, Second Edition

ISBN 978-7-111-36246-3

Ⅰ. 信… Ⅱ. ① 斯… ② 陈… Ⅲ. 多媒体技术 Ⅳ. TP37

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第217333号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号　邮政编码　100037）

责任编辑：李　荣

北京京北印刷有限公司印刷

2012年1月第1版第1次印刷

185mm × 260mm · 16印张（含彩插1.75印张）

标准书号：ISBN 978-7-111-36246-3

ISBN 978-7-89433-165-6（光盘）

定价：59.00元（附光盘）

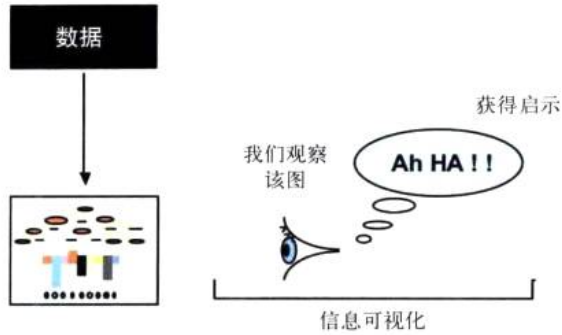
凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：（010）88378991，88361066

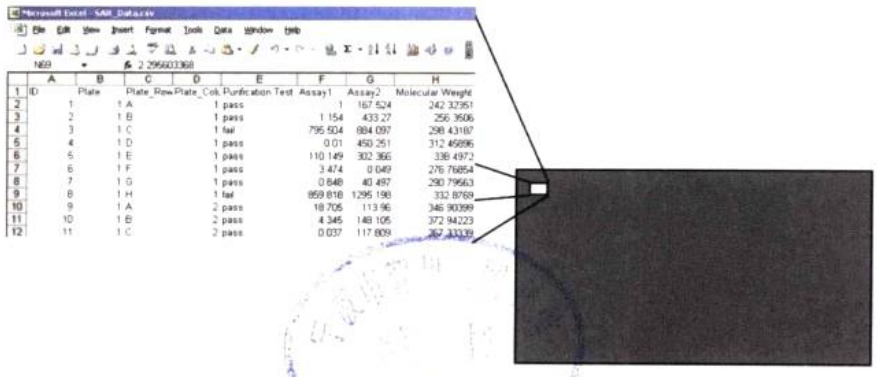
购书热线：（010）68326294，88379649，68995259

投稿热线：（010）88379604

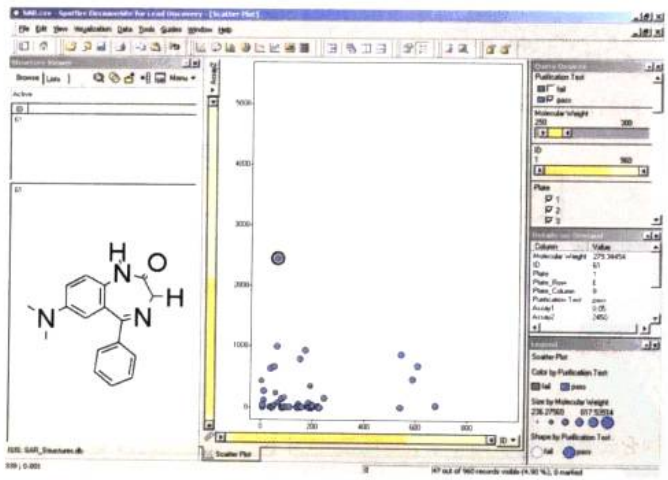
读者信箱：hzjsj@hzbook.com



彩图1-6 信息可视化过程。通过观察数据的图形编码来为其构建心理模型

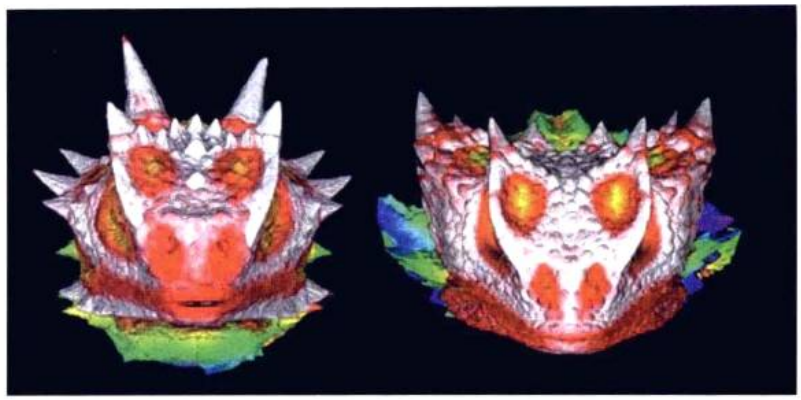


a) 用于新药研究的表格。该表格中有多行代表化合物的数据。每种化合物拥有14项属性。从该表格中获取信息启示是很困难的

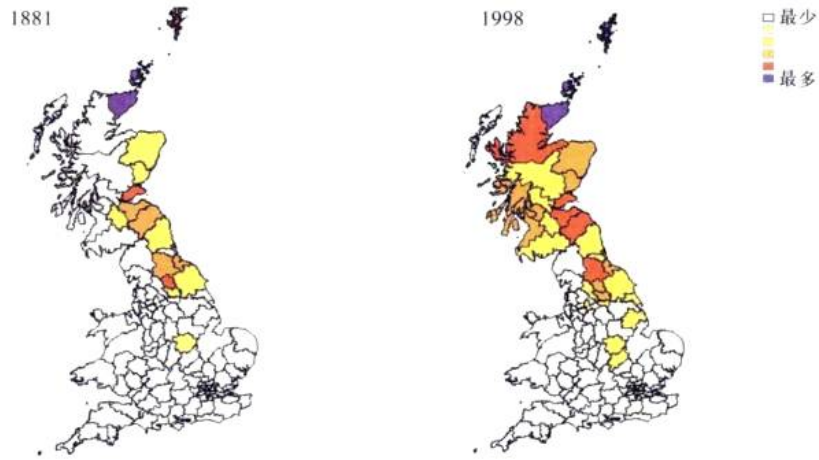


b) 对表格数据的视觉编码可以增强理解。在本例中，图表的坐标分别为属性“ID”和“Assay I”。颜色和形状均表示是否通过了某种提纯测试，大小表示分子重量。某种化合物经过识别后，其分子结构将显示在左边（图片感谢Spotfire公司惠允）

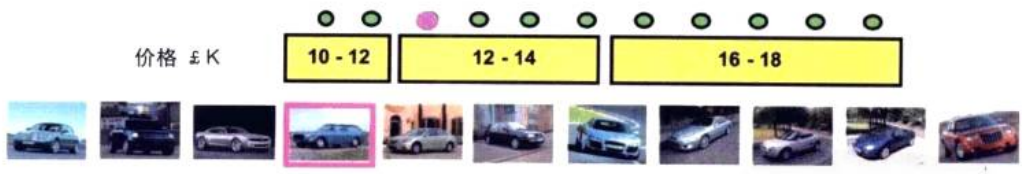
彩图1-7 用于新药研究的表格及对表格数据的视觉编码



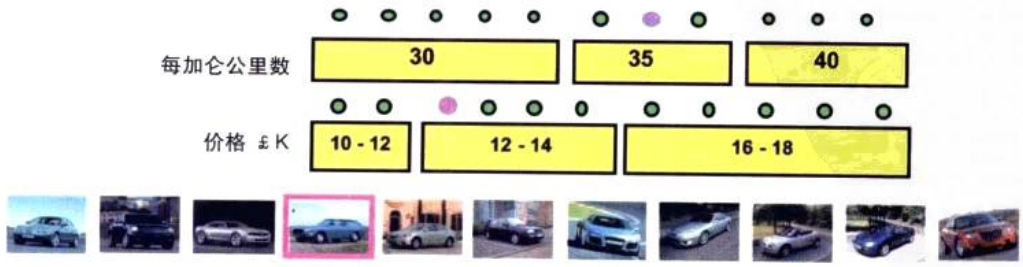
彩图1-12　X光扫描图像重建图。用不同的颜色显示美国得克萨斯州有角蜥蜴和墨西哥有角蜥蜴的外皮和骨骼之间的距离（图片感谢Wendy Hodges博士、Timothy Rowe博士以及Digimorph.org惠允）



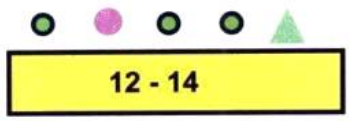
彩图1-13　1881年和1998年英国人口中Spence姓氏的地理分布



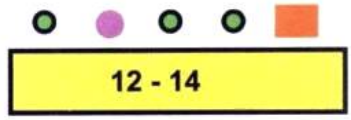
彩图2-5　通过图片选定一辆汽车，它的价格通过图片和条形图上对应图标的颜色编码得以体现



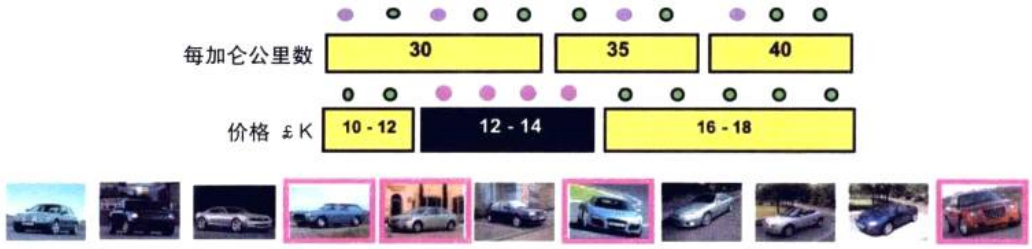
彩图2-6　对应图标的颜色编码显示了选中汽车在各个条形图中的位置



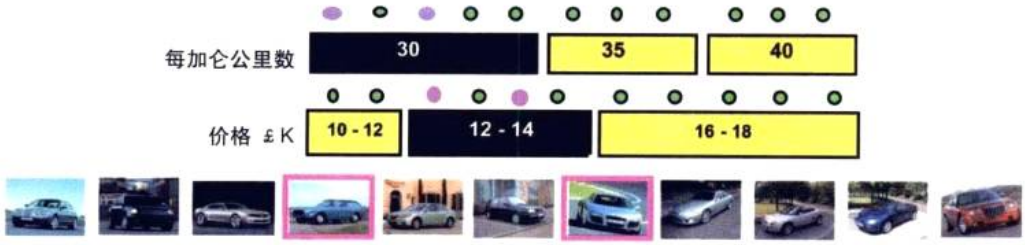
彩图2-7 条形图上的图标可以表示一辆理想（但可能不存在）的汽车。该图标可作为参考标准



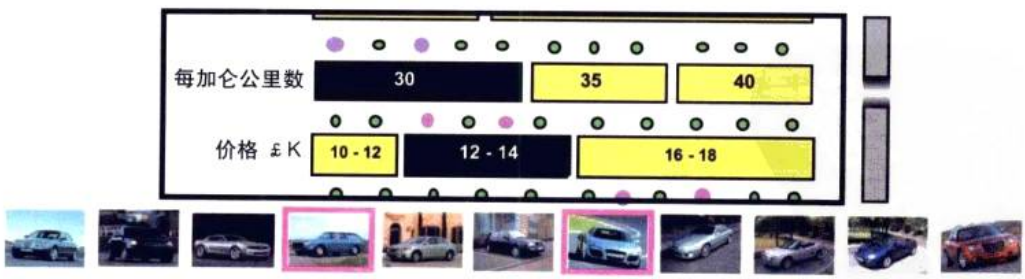
彩图2-8 可以对列入考虑范围的汽车加以“标注”，以供进一步考察



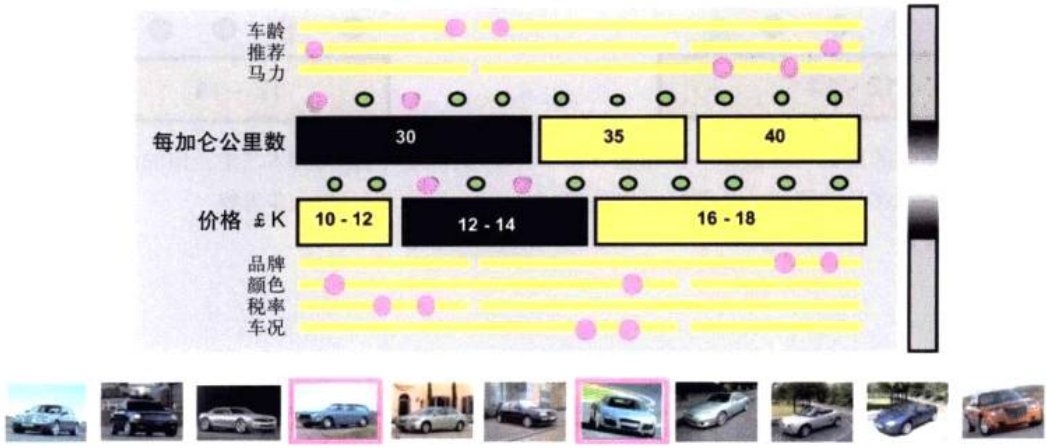
彩图2-9 对条形图范围的动态选择（本例中设价格范围为12～14万）显示有4辆符合条件的汽车



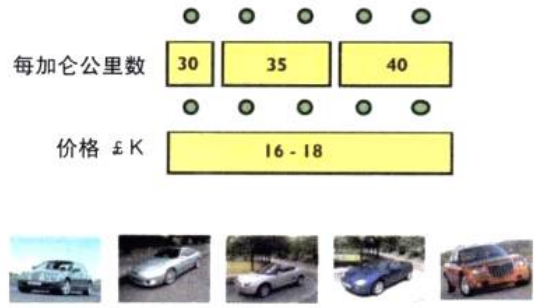
彩图2-10 交互式地选择了MPG范围后，只有同时满足价格和MPG条件的汽车才会得到高显



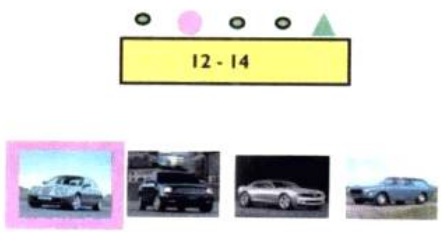
彩图2-11 当没有足够的空间显示所有的条形图时，可以在视窗中滚动查看这些属性



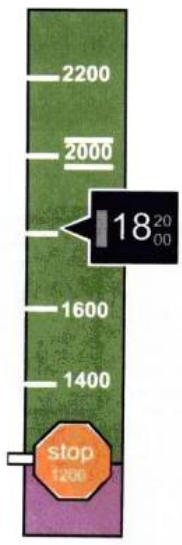
彩图2-12 当没有足够的空间显示所有的条形图时，可以通过压缩非焦点条形图高度的方法来一次性地显示更多的条形图。通过滚动功能来决定当前完全展开的条形图



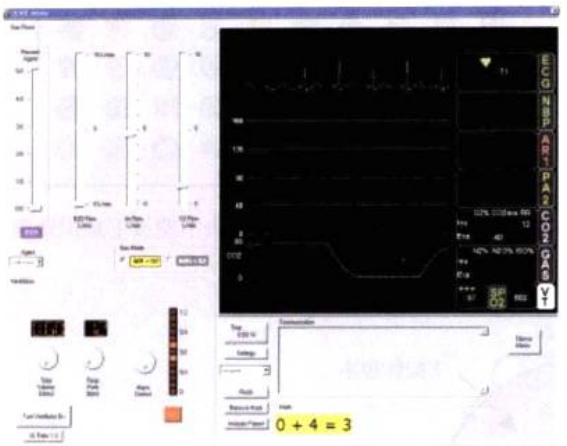
彩图2-13 如果用户只对某一价格范围内的汽车感兴趣，可以压缩掉其他不相关的数据



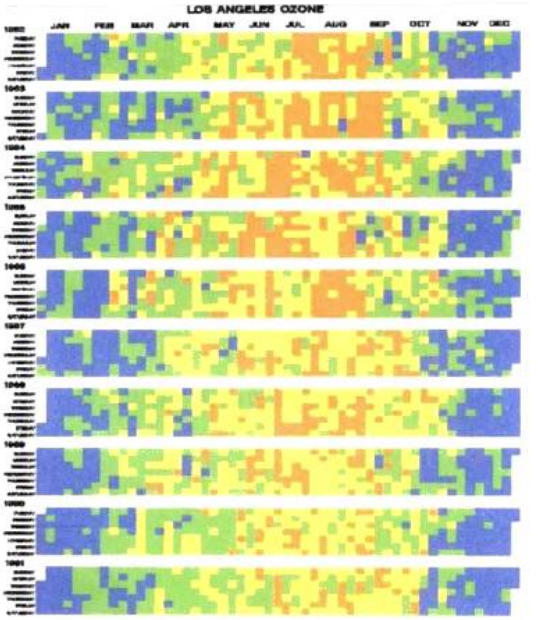
彩图3-1 第2章中讨论的汽车购买系统的部分界面：紫色代表某种关系



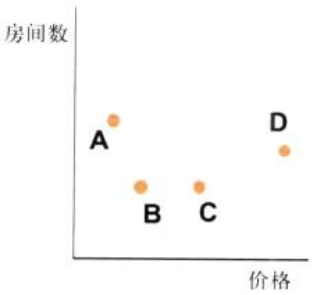
彩图3-9 现代飞行高度计



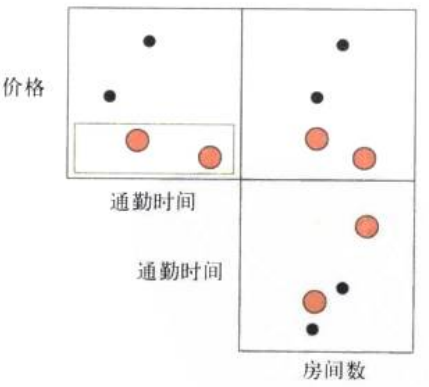
彩图3-10　手术过程中对病人重要生理信号的描述。在长时间手术过程中对大量数据进行监测的困难性导致声学编码的引入：用一组重复的“嘟嘟”声表示信号的变化。无论麻醉师是否注视显示屏幕，都能通过声音立即意识到信号的变化（图片感谢Marcus Watson惠允）



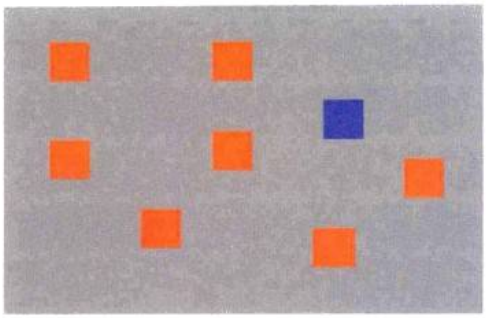
彩图3-19　10年来洛杉矶上空的臭氧浓度



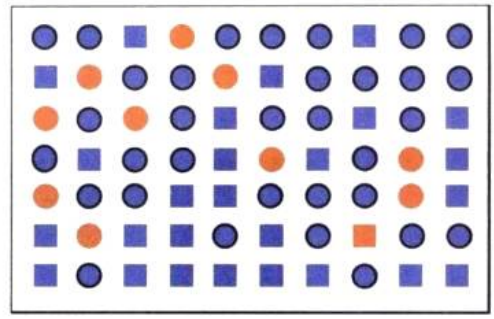
彩图3-27　对图3-26中的数据做投影以方便对价格和房间数进行比较



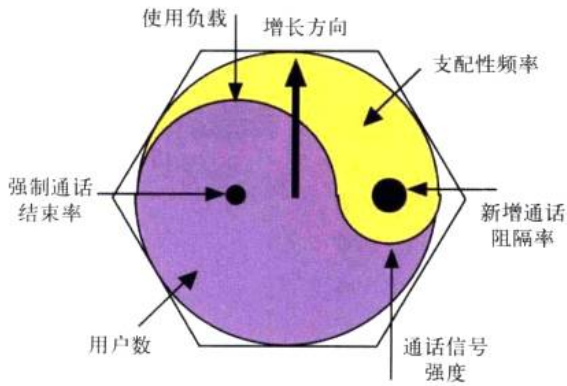
彩图3-29　当前空间内的焦点住房可以通过扫光在其他空间内得到高显



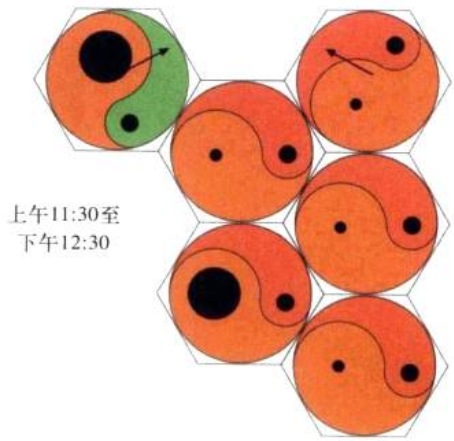
彩图3-36　不同的颜色可以被下意识处理



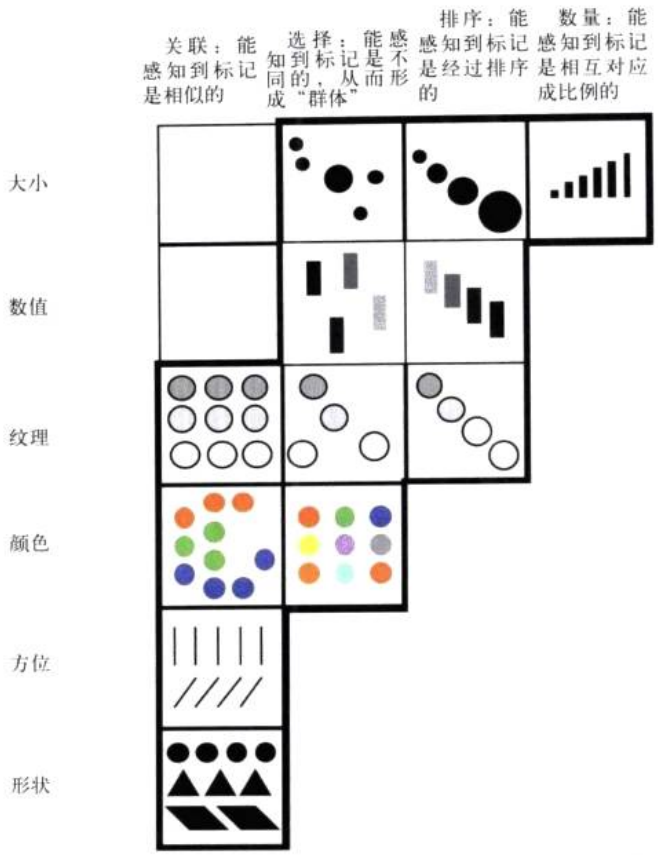
彩图3-37　联合编码导致红色方块不能被下意识处理



彩图3-38　移动电话网络性能描述



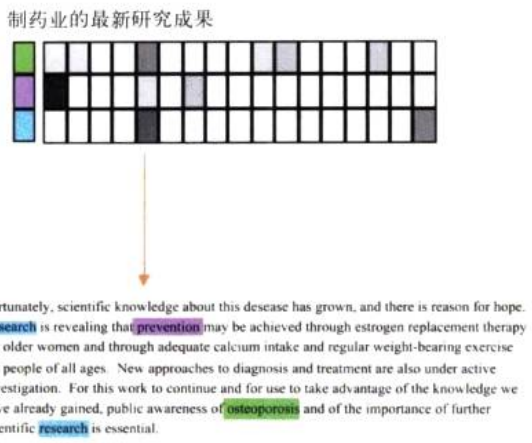
彩图3-39　移动电话网络一个小时内（11:30～12:30）的平均性能描述



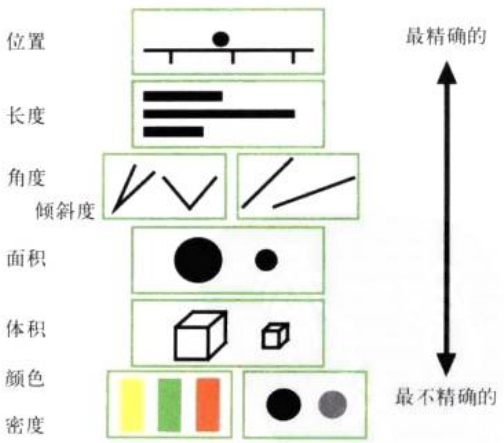
彩图3-41　对四类常规任务的Bertin编码原则



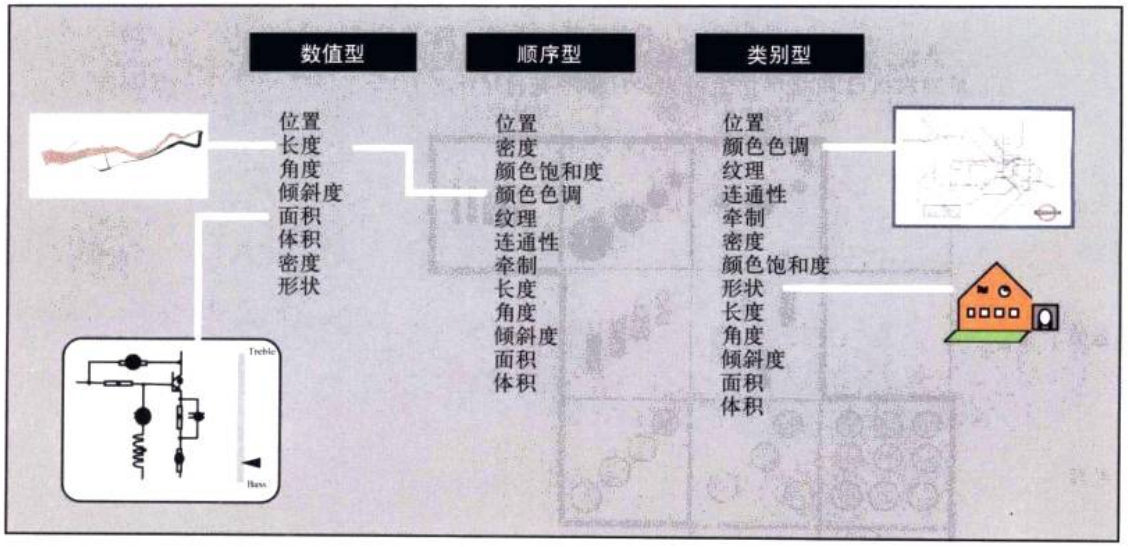
彩图3-42　用户定义的三个感兴趣的主题词



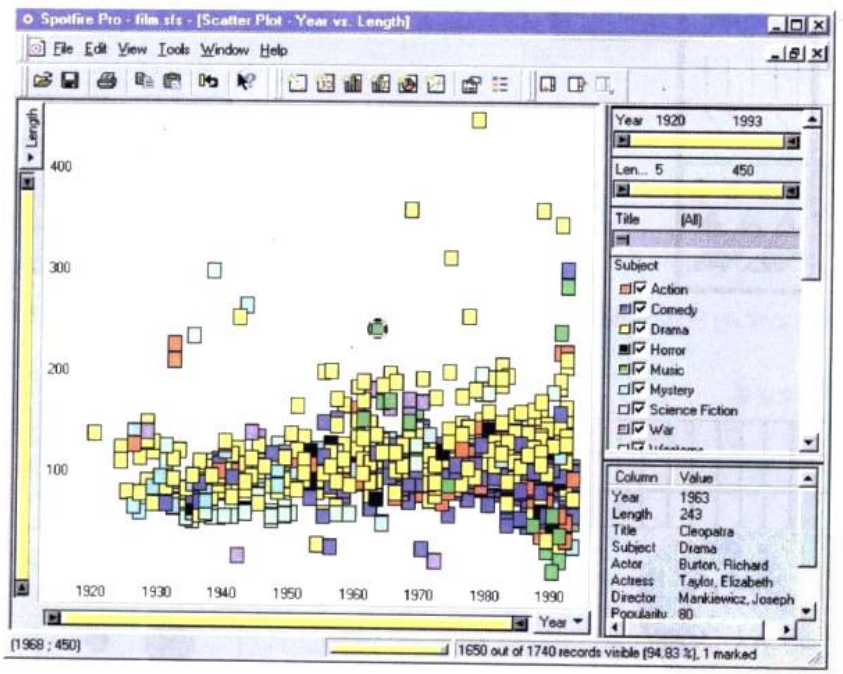
彩图3-43　（上图）平铺条形图显示了段落和主题词间的相关性；（下图）在被选段落中出现的主题词得到高显



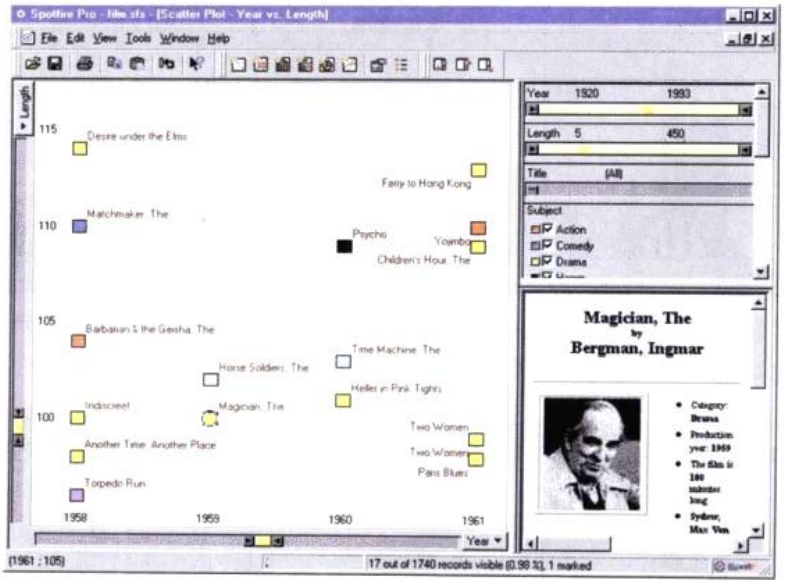
彩图3-44　Cleveland和McGill建立的编码评估机制显示了对数值型数据编码方式精确度进行判断的难度



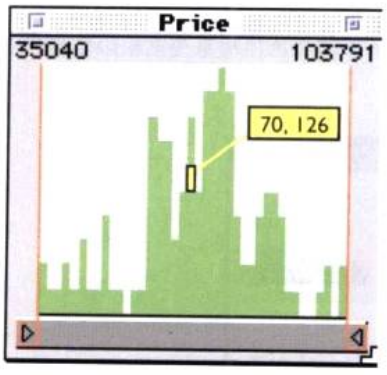
彩图3-45 Mackinlay对数值型、顺序型和类别型数据的编码指导



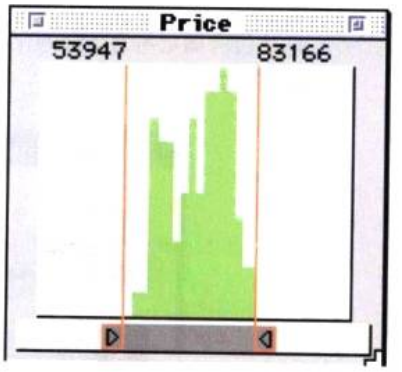
彩图3-53 通过额外的选择技术来增强散点图的功用，允许用户对如片型、时长、制作年代等电影属性进行选择



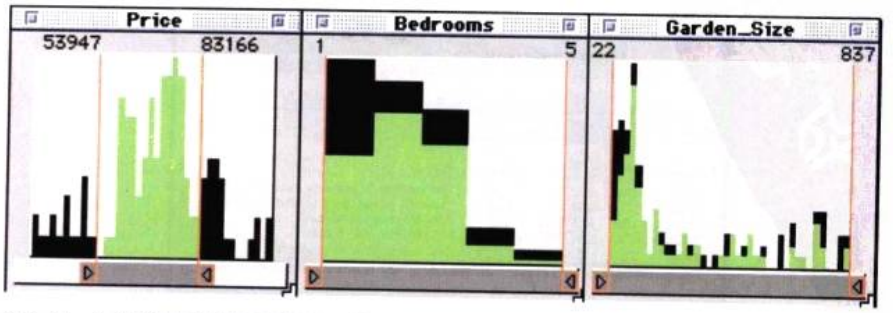
彩图3-54 当用户选择了特定的制作年代和时长范围后，系统自动显示符合条件的电影的细节信息



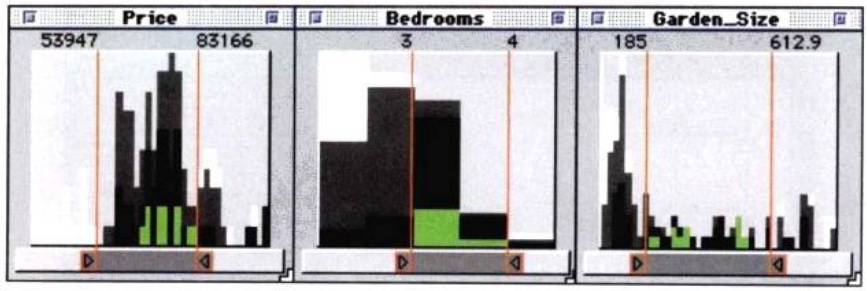
彩图3-55 一组住房的价格直方图。图中的黄色小方块表示其中一栋住房



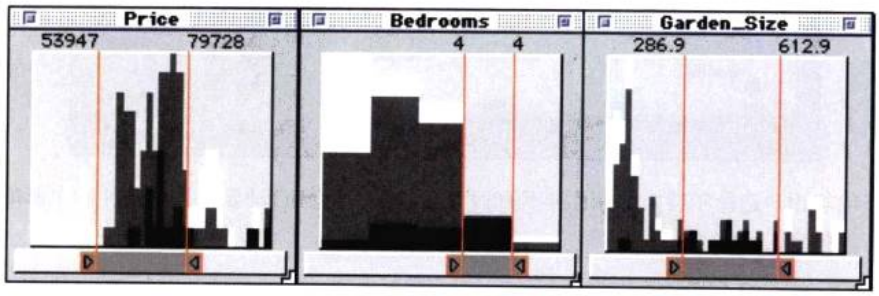
彩图3-56 设置价格属性范围，符合条件的住房得到绿色高显



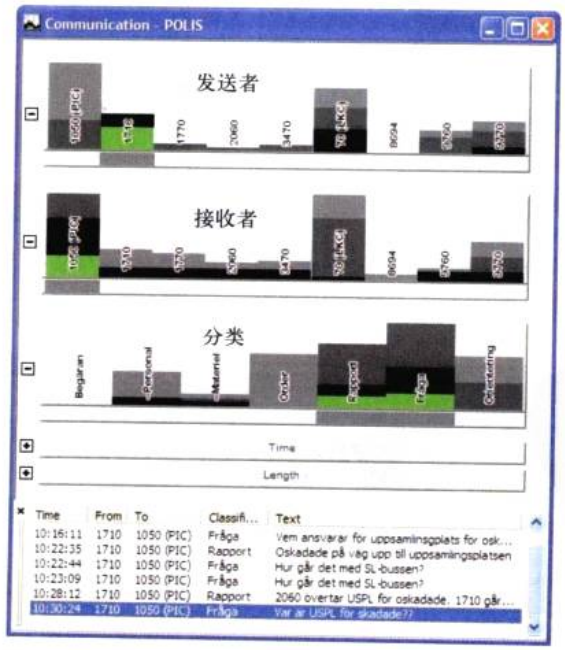
彩图3-57 价格范围和图3-53相同，符合该条件的住房在其余两个直方图中同样得到高显



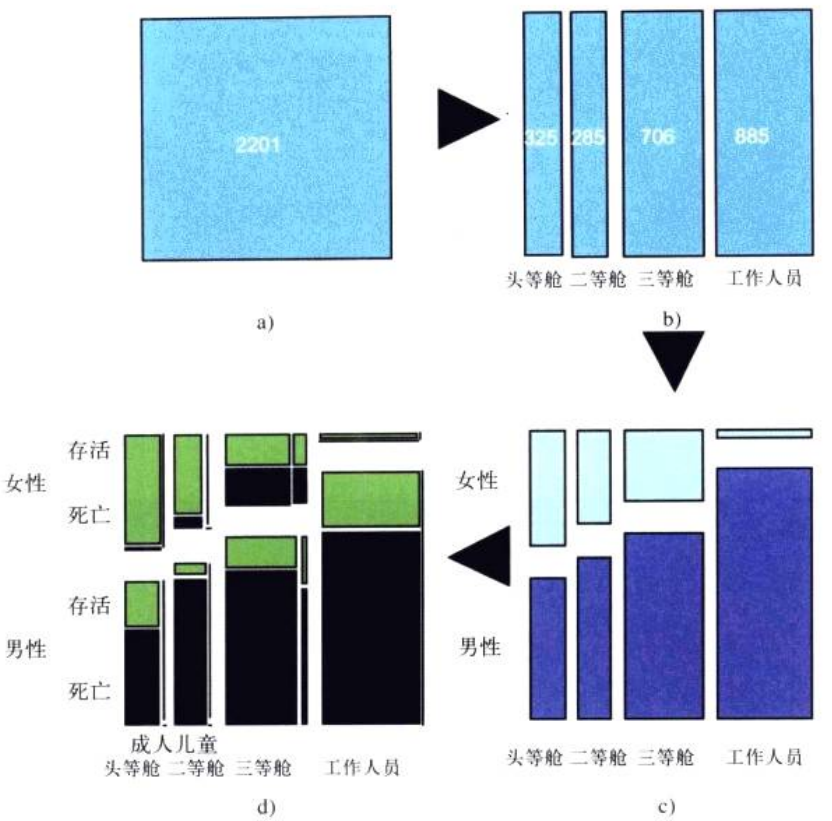
彩图3-58 只有满足所有条件的住房才得到高显。仅不满足其中一项条件的住房显示为黑色，因此如果放宽对应的限制条件，这些黑色的住房就能变为绿色



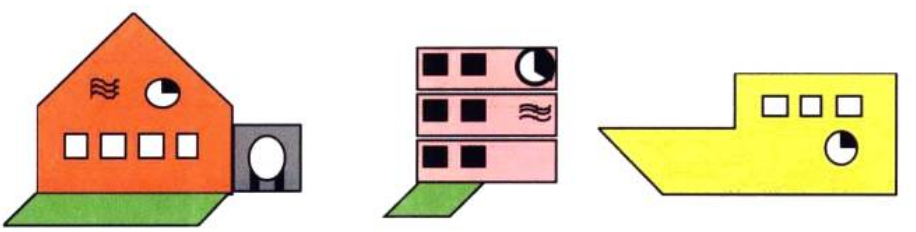
彩图3-59 即使没有满足所有条件的住房，唯一不满足一个条件的黑色住房也为放松限制提供了指导方向



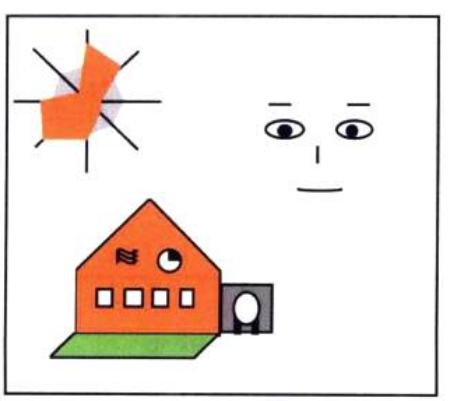
彩图3-60 属性浏览器显示了一场灾难救援演习中收集到的三维通信数据，它支持分析者的交互式探索



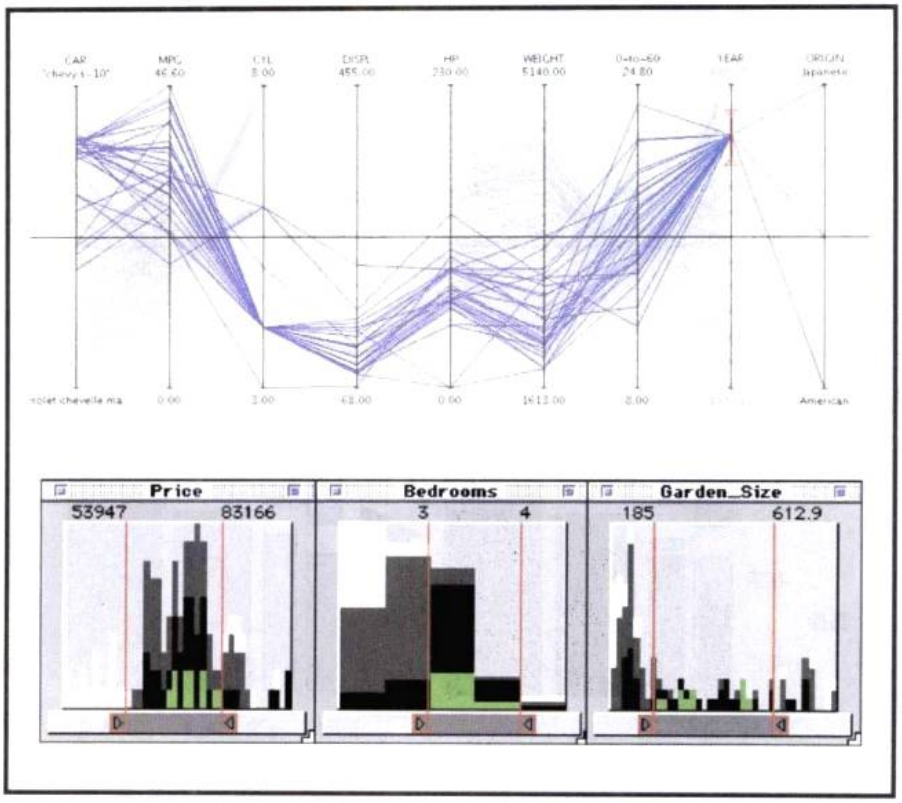
彩图3-61 泰坦尼克号事件的镶嵌图的生成过程



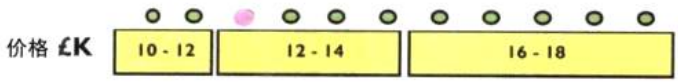
彩图3-63 多维图标描述了住房的8种属性



彩图3-66 支持对象可见性的多属性数据描述方法

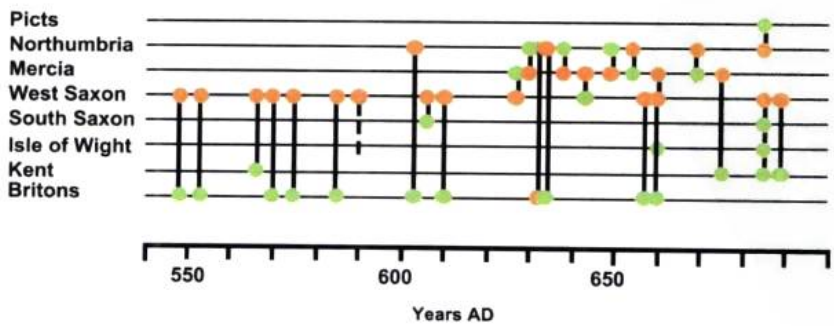


彩图3-67　支持属性可见性的多属性数据描述

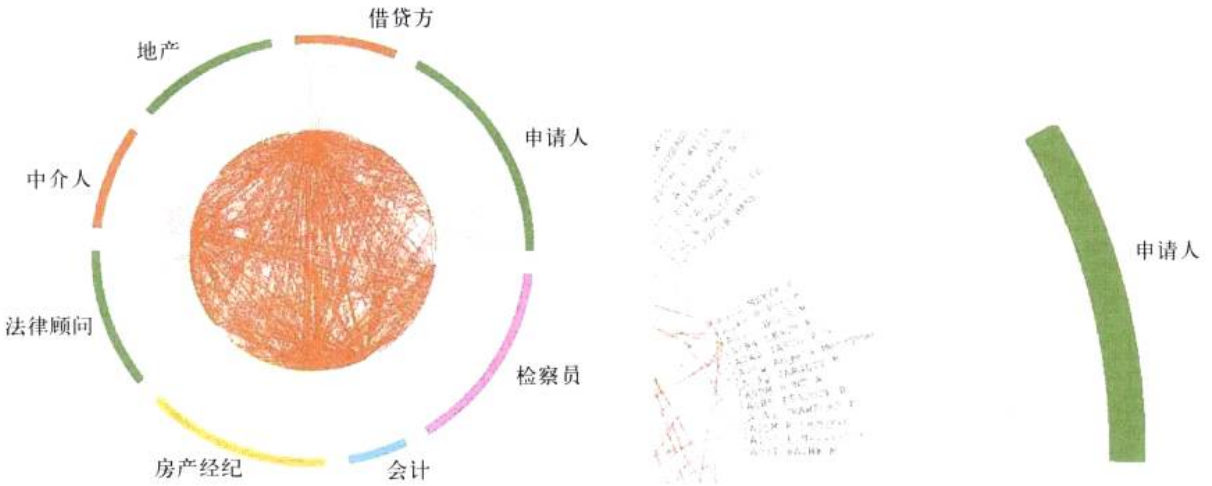




彩图3-71　用颜色表示关系



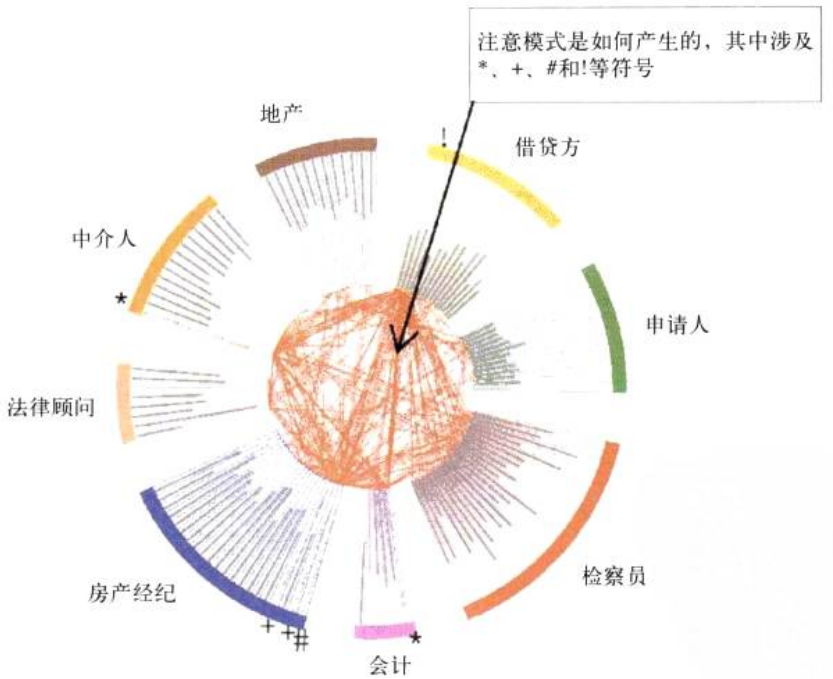
彩图3-72　公元550年～700年间在英格兰Anglo-Saxon地区发生的战事。红色表示侵略者，绿色表示被侵略者。图片来源：After Arnold (1997)



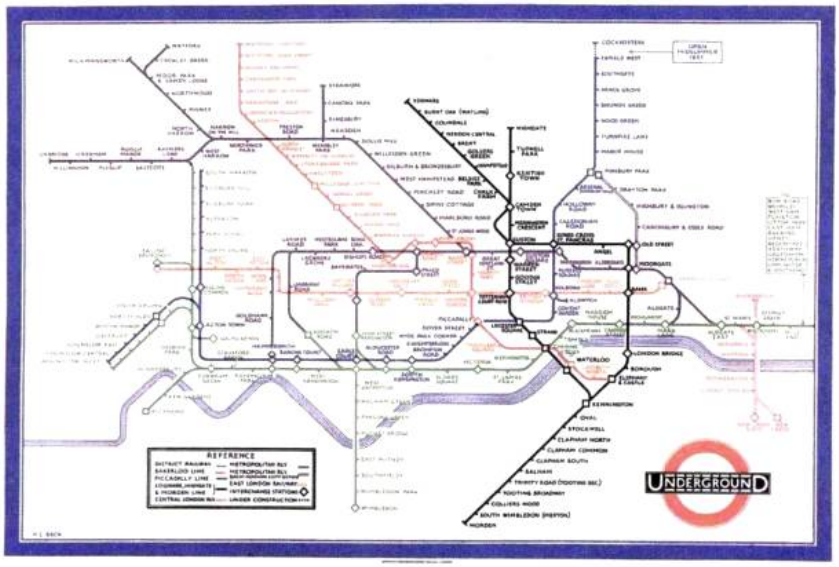
a) 抵押贷款活动的描述。借贷方、房屋属性、购买者等多个角色被描述为环面上的一个片段（见图3-74b）。它们之间的关系用线段标明

b) 申请人表示为图3-74a所示的贷款活动描述中的放射状片段

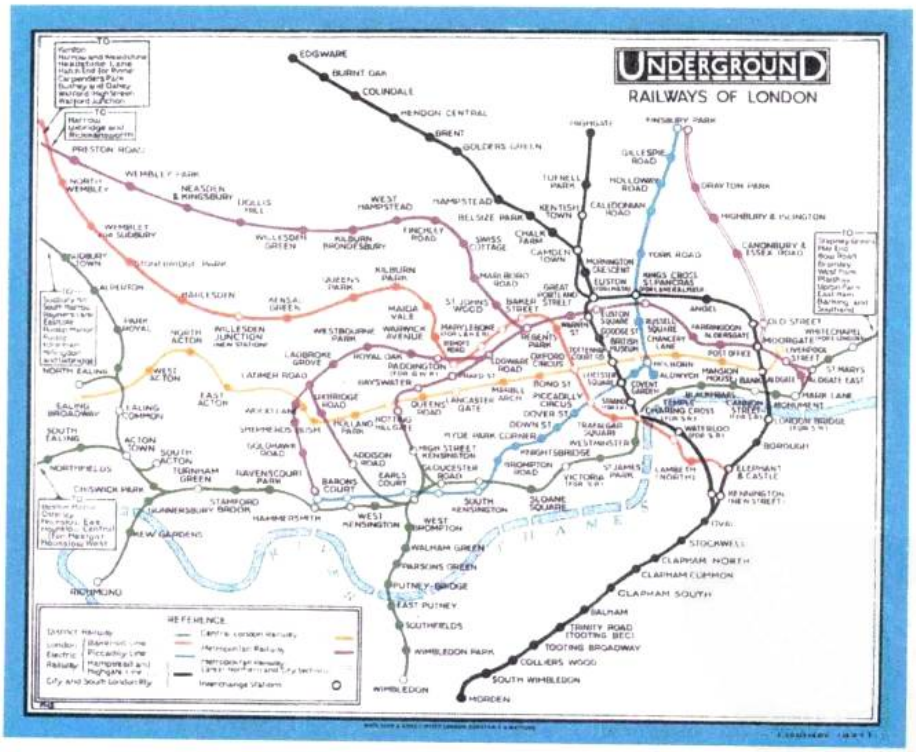
彩图3-74　对抵押贷款活动的描述



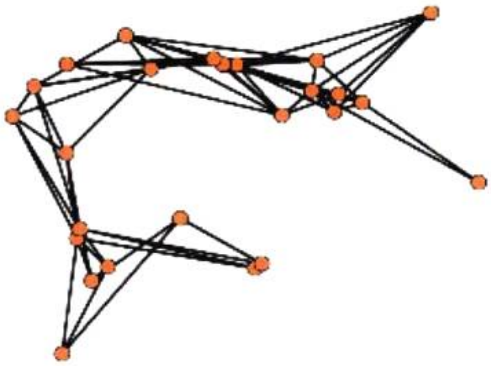
彩图3-75　在图3-74所示的描述中加上阈值限制将正常的房屋购买行为滤掉。不正常的购买行为通过连接的线段得到凸显



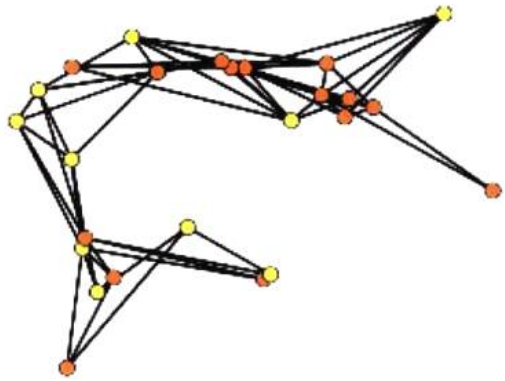
彩图3-78　Harry Beck的伦敦地铁原始图（图片来源：Transport for London）



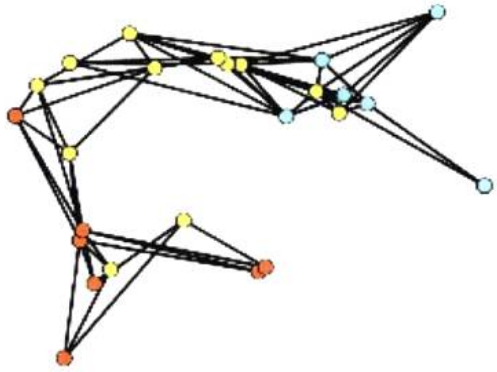
彩图3-79　出现于Harry Beck版之前的伦敦地铁地图（图片来源：Transport for London）



a) 部门雇员的社会选择。（图片来源：感谢L. C. Freeman惠允）

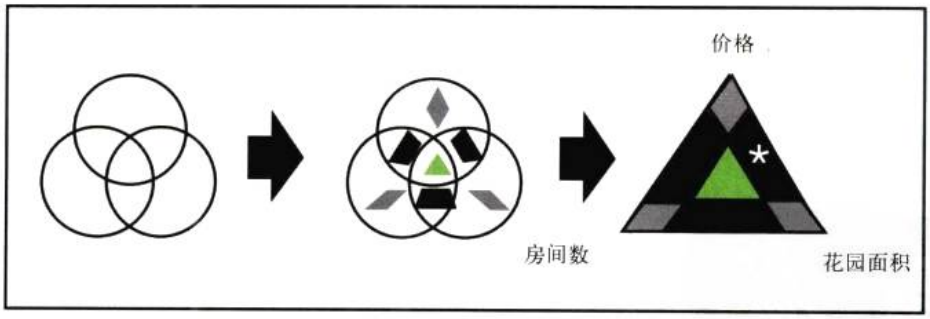


b) 部门雇员的社会选择，颜色编码表示婚姻状态。（图片来源：感谢L. C. Freeman惠允）

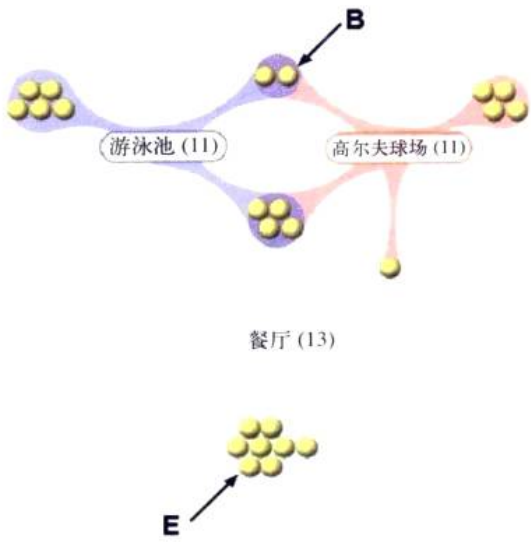


c) 部门雇员的社会选择，颜色编码表示不同的年龄段（蓝色<30，30<黄色<40，红色>40）。（图片来源：感谢L. C. Freeman惠允）

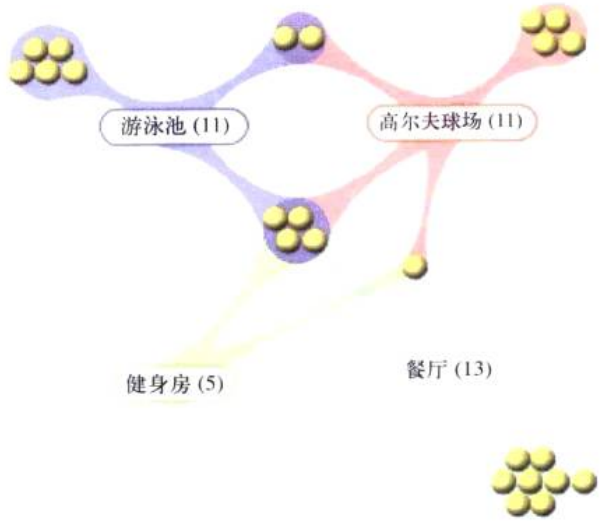
彩图3-81　部门雇员的社会选择



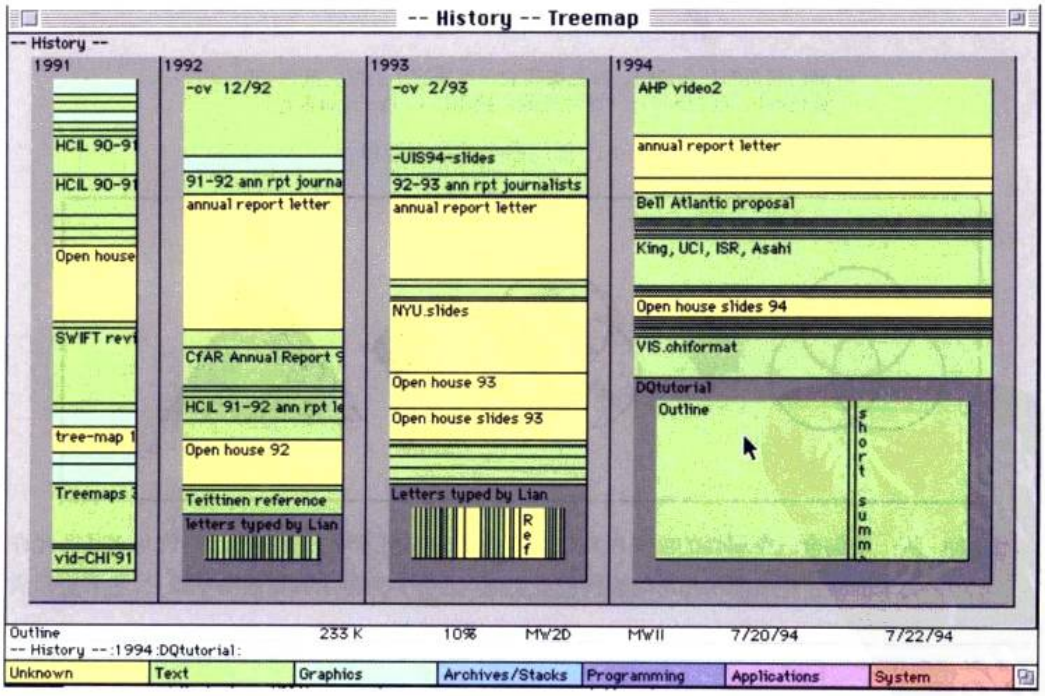
彩图3-84　从一个包含三个属性的维恩图到信息水晶图的转换过程。图中所示的信息水晶图允许关于价格、花园面积和房间数的视觉查询（见图3-58显示的属性浏览器）。星号表示满足价格和花园面积要求但不满足房间数条件的住房



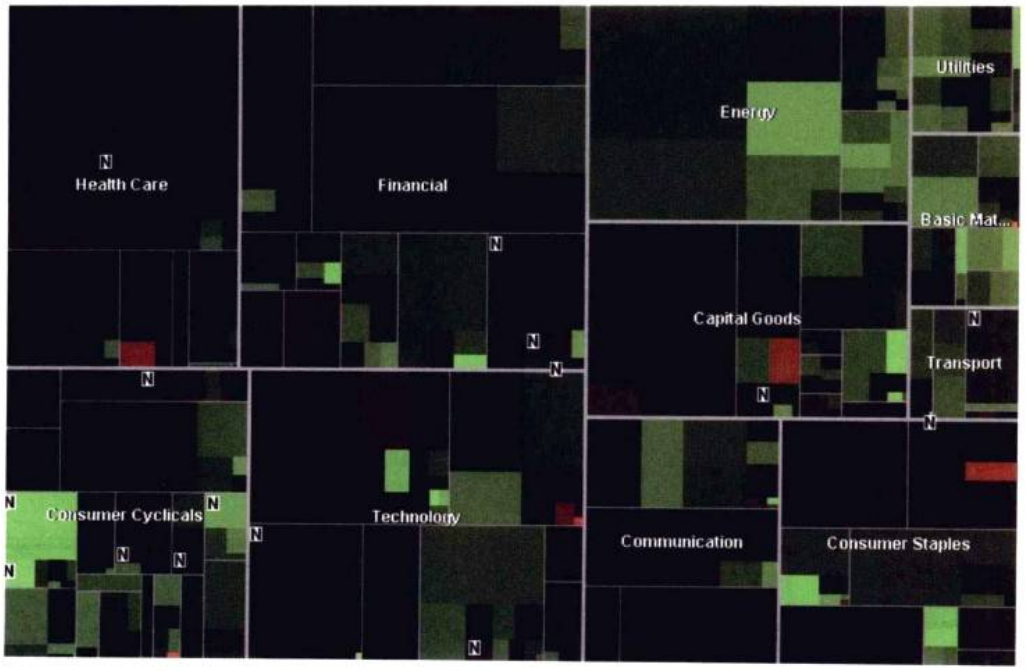
彩图3-86 和图3-83所示的维恩图以及图3-85所示的信息水晶图内容一致的族群图（图片感谢Christiaan Fluit, Aduna惠允）



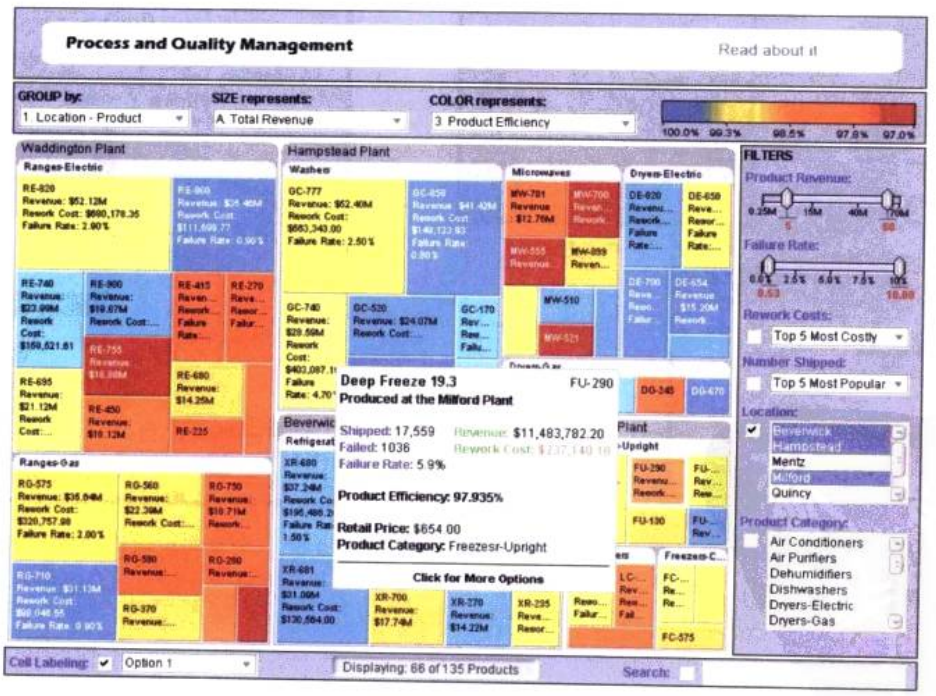
彩图3-87 显示有4个属性的24家酒店的族群图（图片感谢Christiaan Fluit, Aduna惠允）



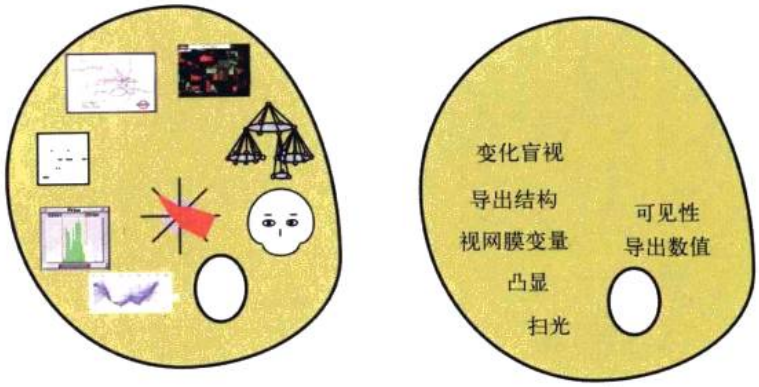
彩图3-93 对一位作家的作品集的树图描述（图片感谢Ben Shneiderman惠允）



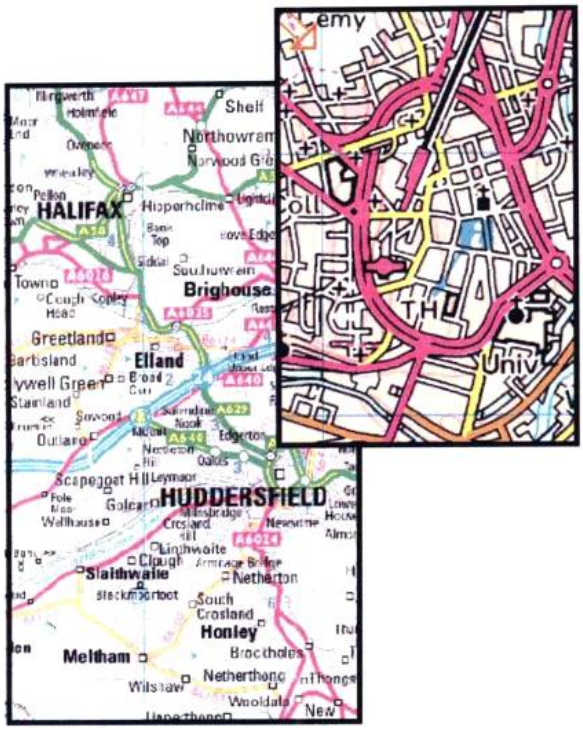
彩图3-94　Smartmoney.com网站显示了各行业中相关企业的状态



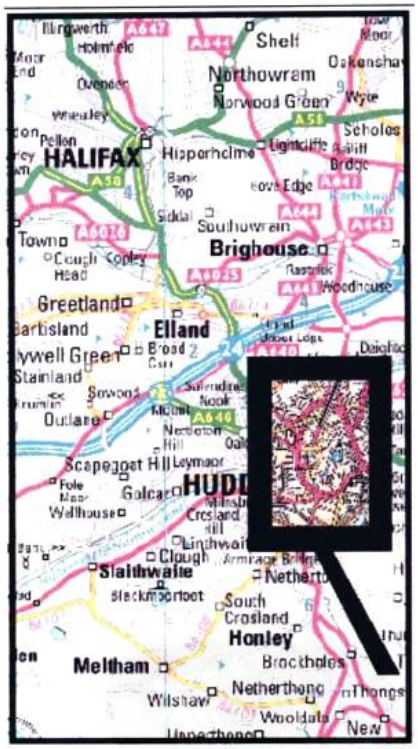
彩图3-95　显示经济信息的树图，允许对属性进行过滤（图片经HIVE惠允）



彩图3-99　可供交互设计师选用的“调色板”：a）技术；b）概念



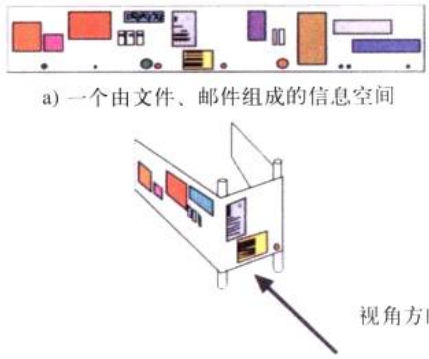
彩图4-5　去往Halifax方向的旅途中途经的小镇Huddersfield的详细信息



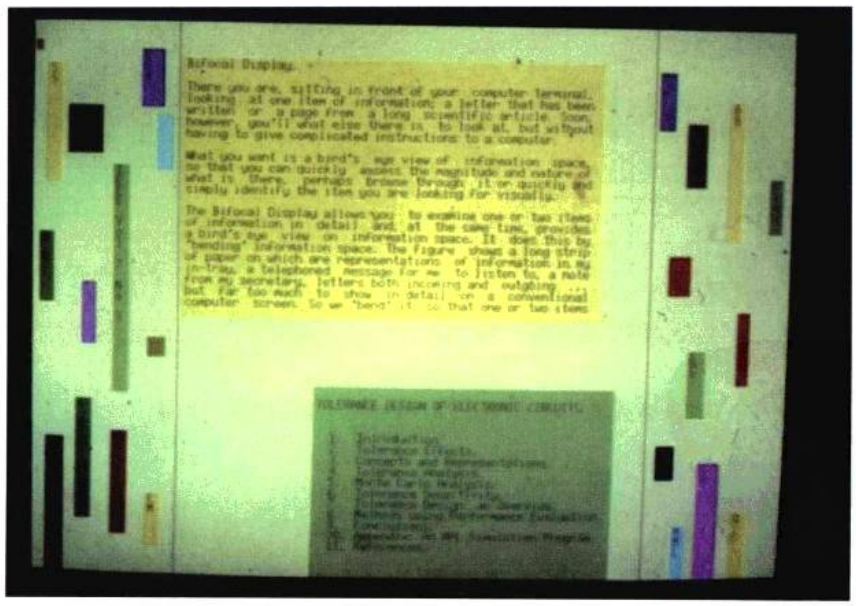
彩图4-6　一个真实或虚拟的放大镜遮住了放大区域周围的细节信息



彩图4-7 DragMag技术允许对任意区域的放大



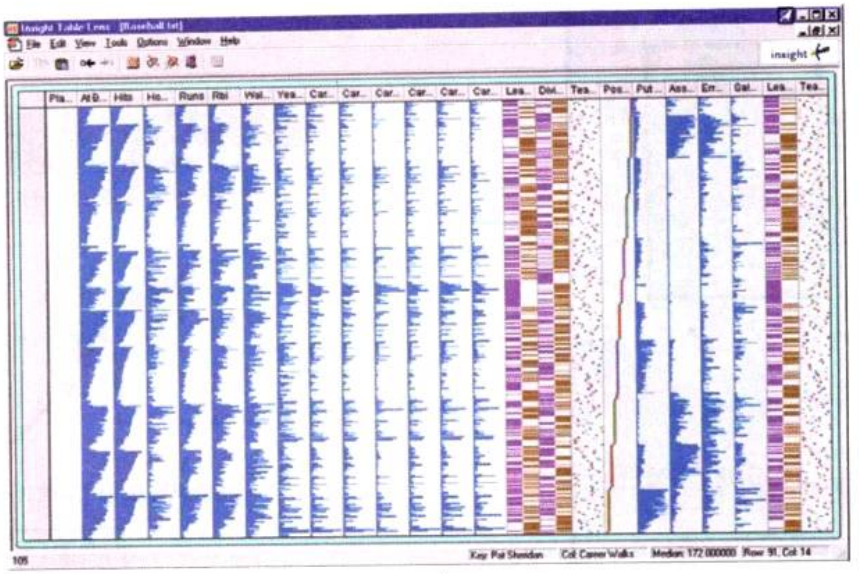
彩图4-8 双焦显示的主要原理示意图



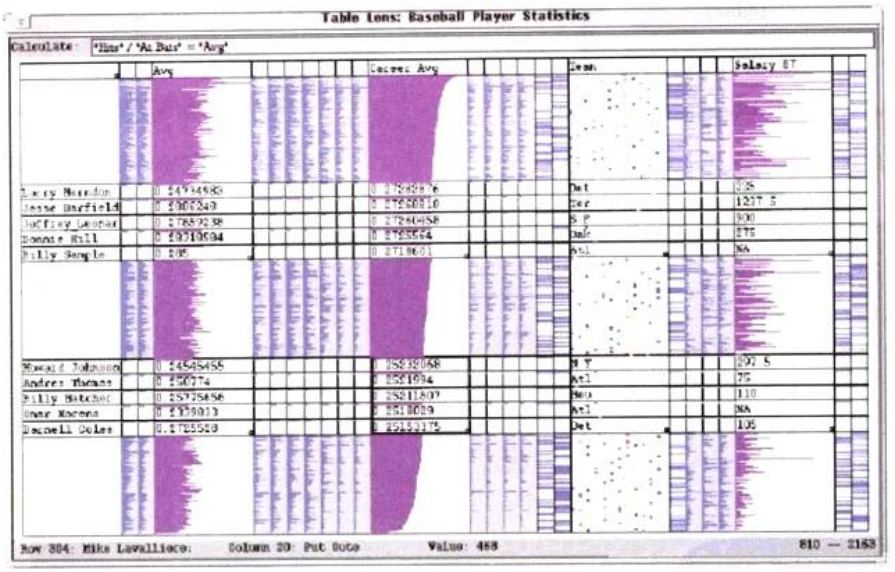
彩图4-9 早期双焦显示实例



彩图4-10 某种蛋白质的氨基酸序列（图片感谢Tom Oldfield惠允）

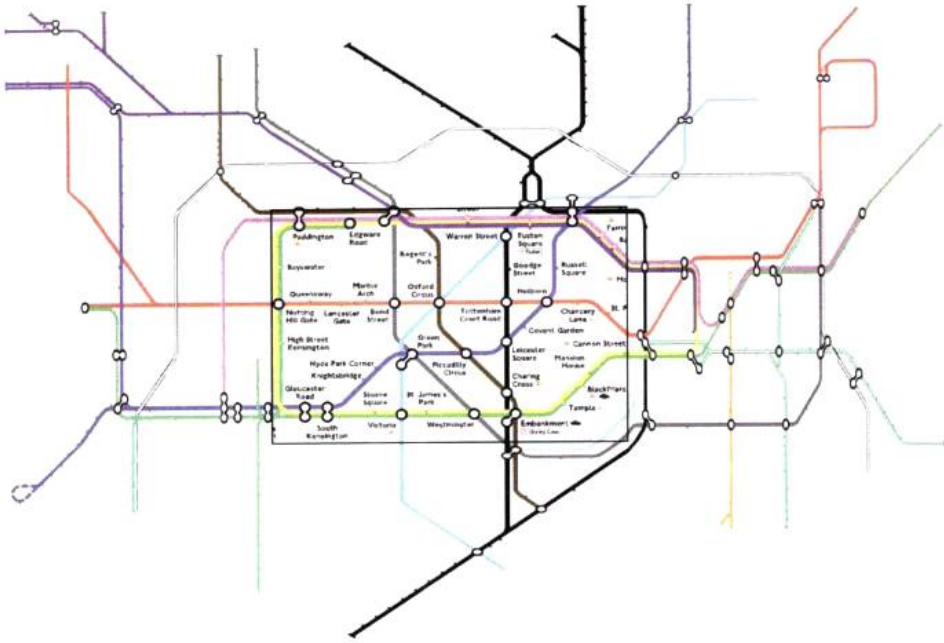


a)

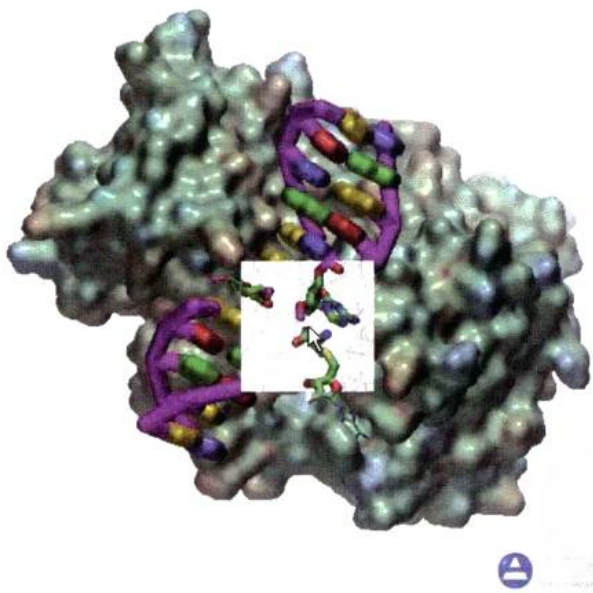


b)

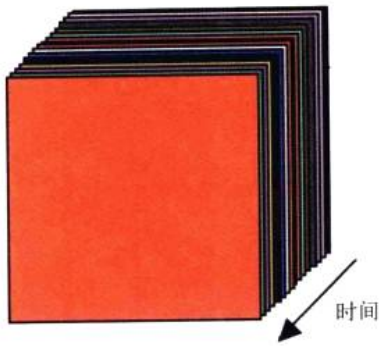
彩图4-11　表格透镜。a）没有变形；b）通过变形（展开）显示姓名



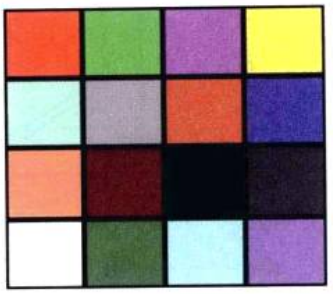
彩图4-14 伦敦地铁的变形图，保证了变形区域边缘位置的连续性



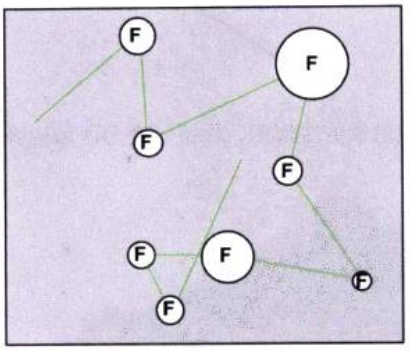
彩图4-30 在某数量级上（ID=10mh）用不同颜色标注蛋白质转移酶分子表面的潜在DNA静电跃进。魔术透镜窗口中显示了相关原子结构，跃进的配合基结构高显为圆柱状，从而提供了蛋白质的内部视图



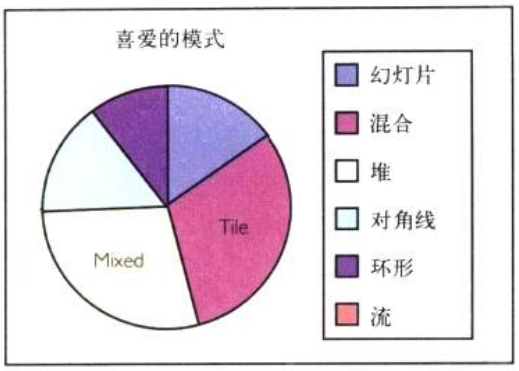
彩图4-38 快速序列视觉表示（Rapid Serial Visual Presentation, RSVP）。每次显示图片集中的一幅图片，图片之间以一定的速度（如1秒钟显示10幅图片）进行切换



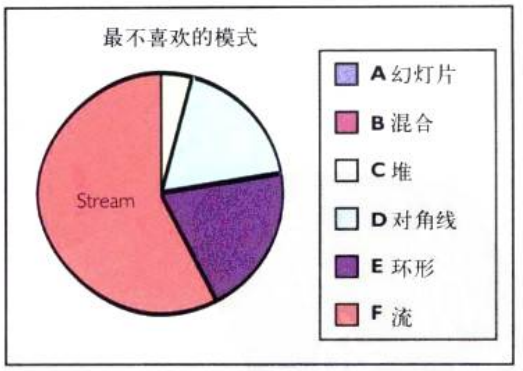
彩图4-39 图片集的同时表示



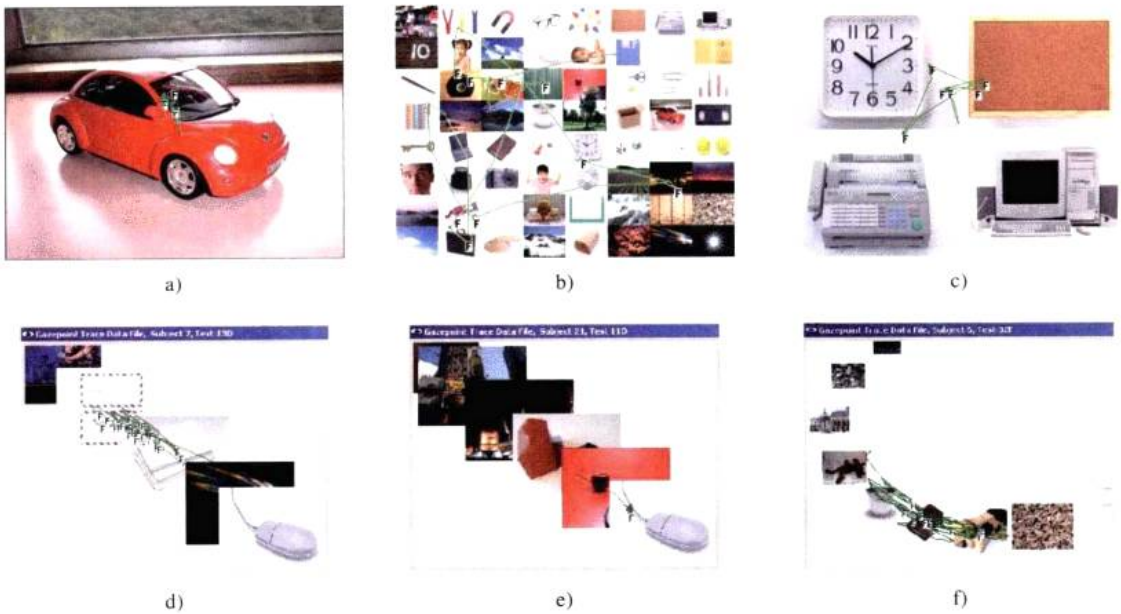
彩图4-46 眼球活动的简单示意图。绿色表示快速扫视，圆表示凝视（F），圆的大小表示凝视的时长



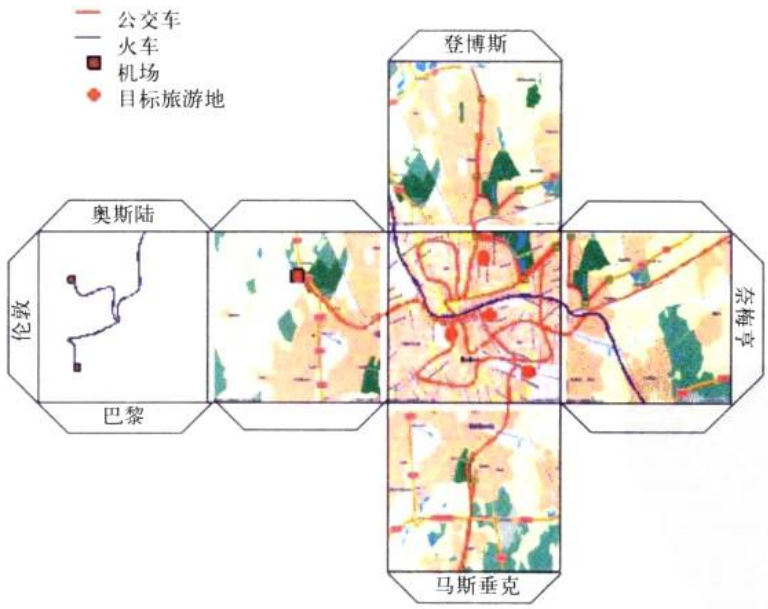
彩图4-49 3/4的参与者喜欢（静态）幻灯片、混合和堆模式



彩图4-50 几乎所有受欢迎的模式都属于运动模式，超过一半的参与者不喜欢流模式



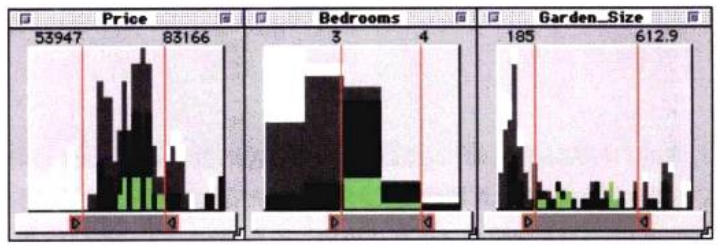
彩图4-51　对图片集的六种表示模式的代表性眼球活动轨迹的数据记录：a）幻灯片模式；b）堆模式；c）混合模式；d）对角线模式（不喜欢该模式的用户）；e）对角线模式（喜欢该模式的用户）；f）流模式（不喜欢该模式的用户）



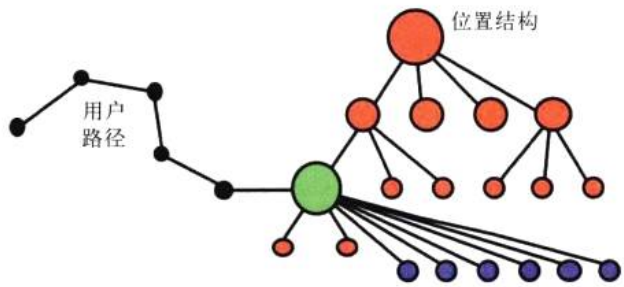
彩图4-58　习题4.6的一种可能的解决办法（见习题4.9）



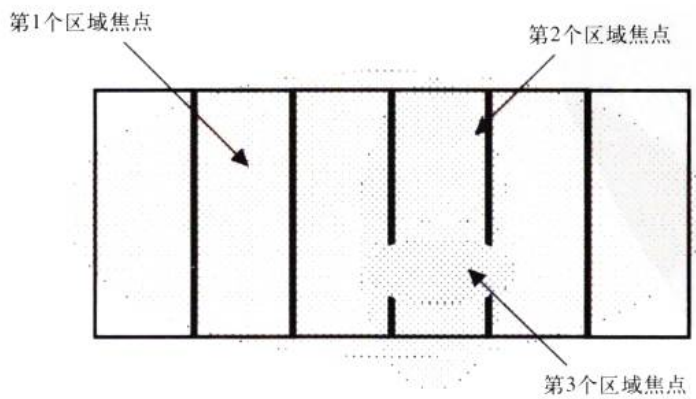
彩图5-7 信息空间、交互模式以及两者的结合示例



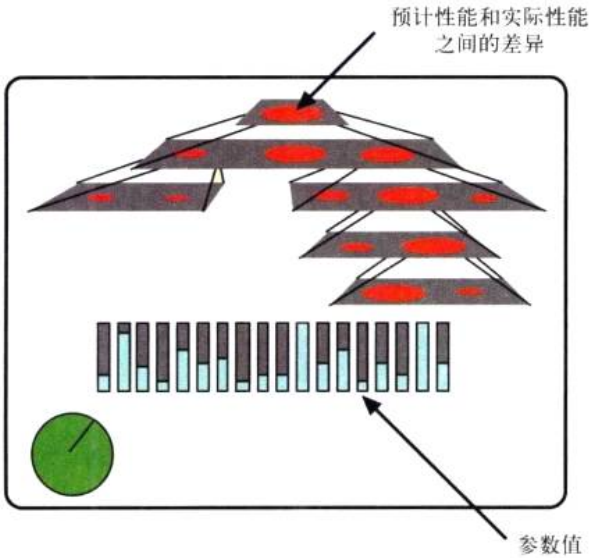
彩图5-21 黑色编码表示仅不满足1个属性限制的住房，它提供了敏感度信息



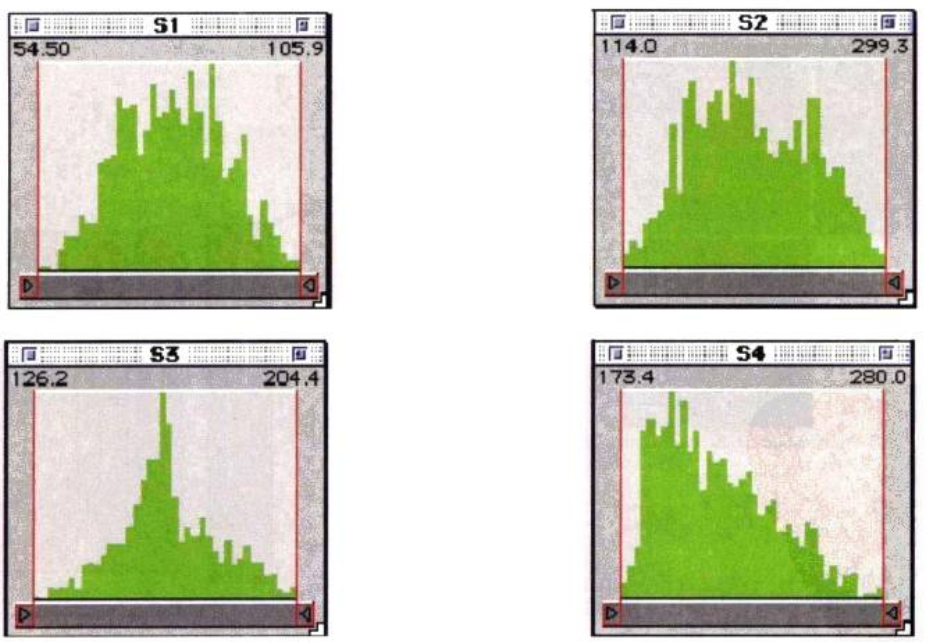
彩图5-40 位置历史信息（红色）提供了结构信息，同时也显示了用户当前位置



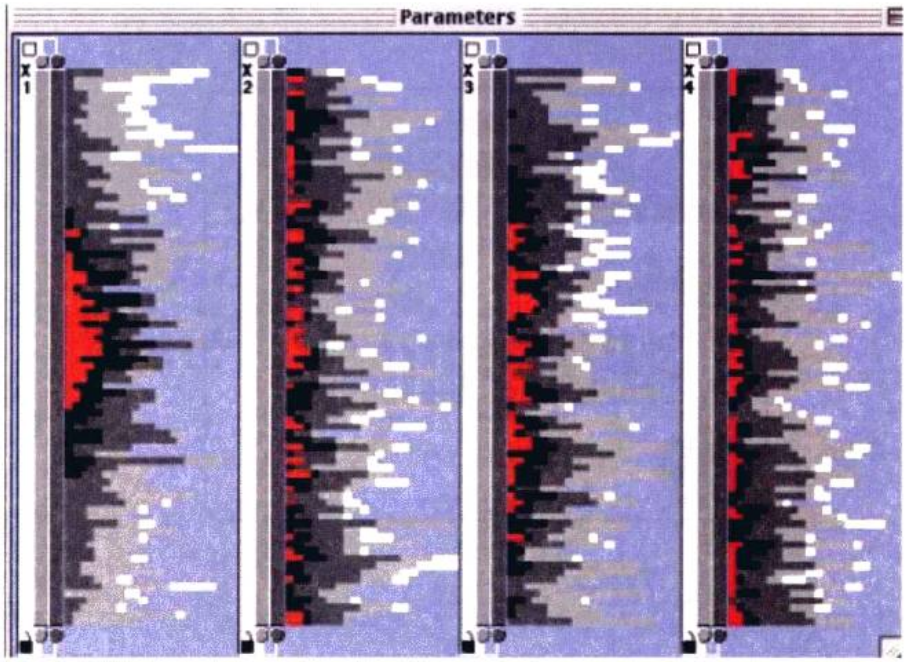
彩图5-43 对认知心理学感兴趣的用户对书架的视觉浏览示意图。第1个区域焦点集中在红色部分，通过对所有书籍的探察发现心理学的书籍大多集中在绿色区域（第2个区域焦点）。对该区域的研究发现认知心理学集中在蓝色区域（第3个区域焦点）



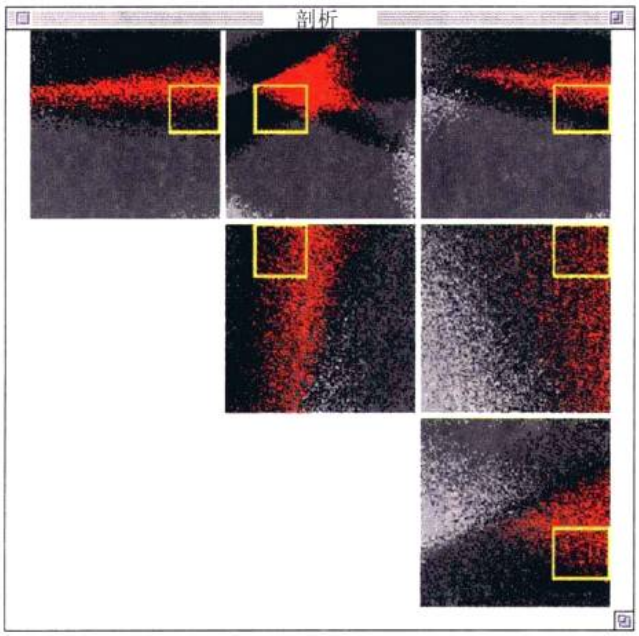
彩图5-45 允许用户指导的电路自动设计系统草图。时钟指针的移动代表优化算法的迭代行为。蓝色条状和红色圆圈的大小分别表示算法选择的参数值和电路的各种性能指标。设计师可以在任意时刻暂停算法的运行、改变算法细节或设置算法性能的某些限定条件



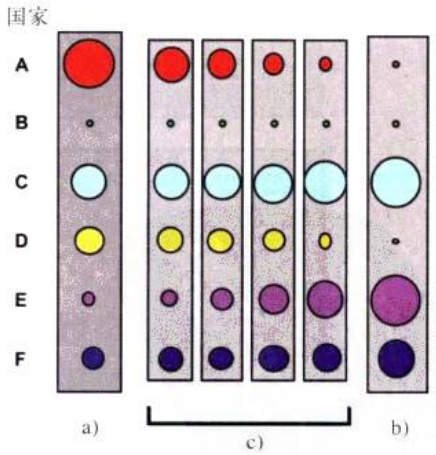
彩图5-48 将某结构的随机生成的设计方案中的四种压力显示在直方图中



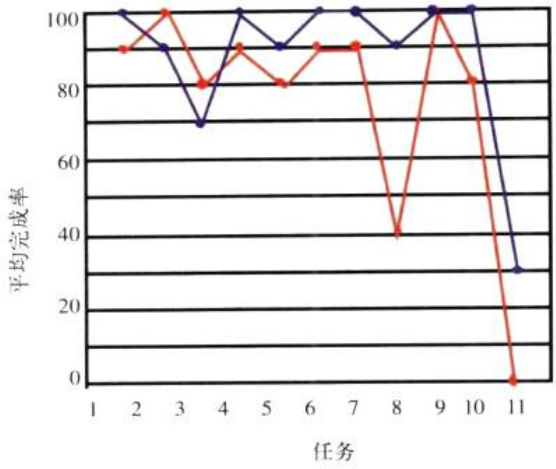
彩图5-49 根据对参数S1~S4所做的条件限制对参数直方图做扫光操作，红色表示满足S1~S4限定条件的参数组合



彩图5-50 有四个参数的设计剖析矩阵。红色表示满足所有性能限制条件的设计，黄色表示放宽参数限制条件后大规模生产所对应的设计



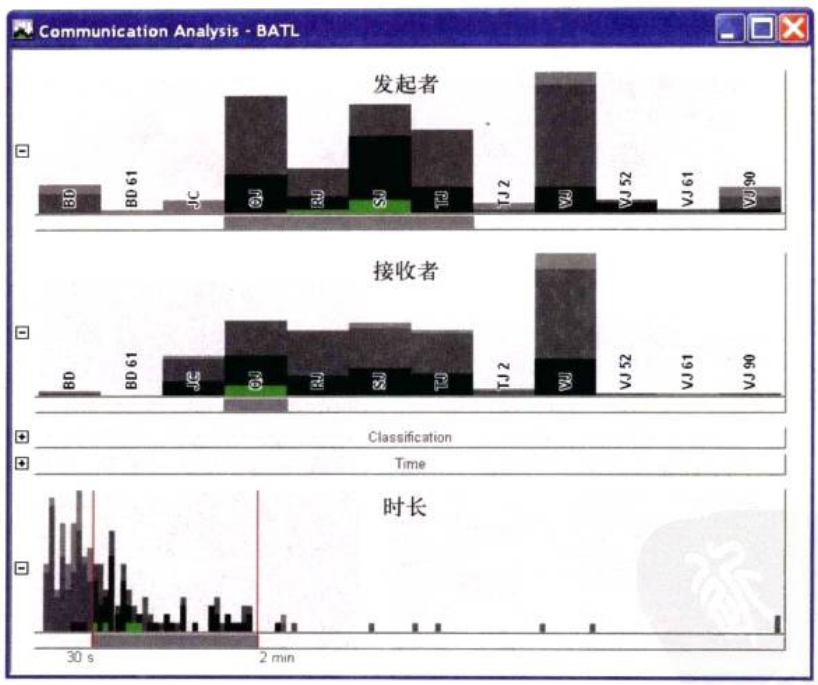
彩图5-53 可以通过动画表示的图c）来描绘视图a）和b）之间的转化



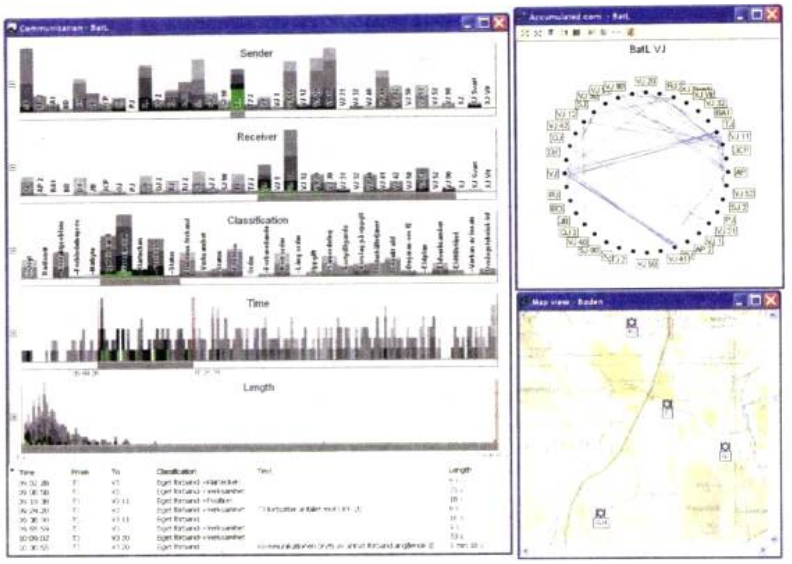
彩图6-10 每个任务的完成率（蓝色=FishCal，红色=Pocket PC）



彩图6-13 EZChooser界面截图



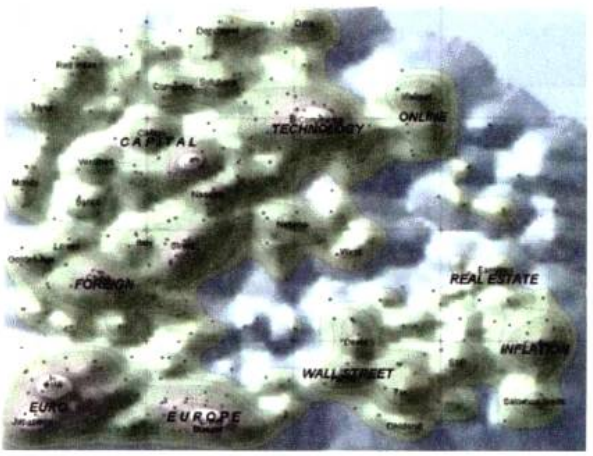
彩图6-29 属性浏览器在通信系统中的应用示意图



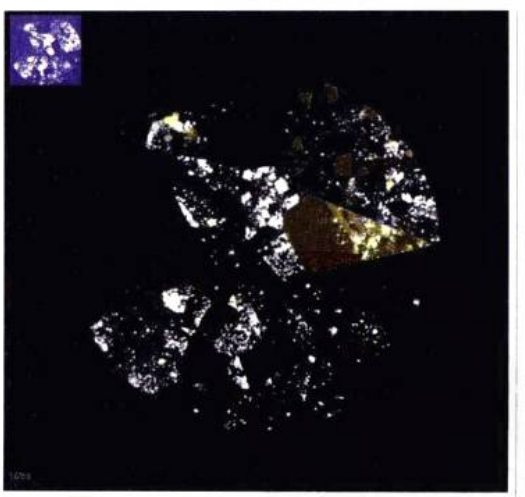
彩图6-30　支持通信行为分析的MIND系统界面



彩图6-31　文件库的风景编码



彩图6-32　关于金融行业的700篇文章的主题编码



彩图6-40　符合查询条件的区域和文档都得到高显

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson，McGraw-Hill，Elsevier，MIT，John Wiley & Sons，Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Andrew S. Tanenbaum，Bjarne Stroustrup，Brain W. Kernighan，Dennis Ritchie，Jim Gray，Afred V. Aho，John E. Hopcroft，Jeffrey D. Ullman，Abraham Silberschatz，William Stallings，Donald E. Knuth，John L. Hennessy，Larry L. Peterson等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方法如下：

华章网站：www.hzbook.com
电子邮件：hzjsj@hzbook.com
联系电话：（010）88379604
联系地址：北京市西城区百万庄南街1号
邮政编码：100037



华章教育
华章科技图书出版中心

译 者 序

Information Visualization: Design for Interaction, 2E

信息可视化是计算机科学的新兴分支之一。近年来，随着数据的爆炸式增长，计算机用户面临着信息过载的严峻考验。如何帮助计算机用户更快捷有效地从大量数据中提取出有用信息成为信息可视化的核心任务。信息可视化主要利用图形图像技术对大规模数据进行可视化表示，以增强用户对数据更深层次的认知。

本书是英国著名信息可视化专家Robert Spence教授的代表作，也是世界范围内信息可视化领域最为经典的教材之一。本书结构清晰，内容丰富，案例翔实，系统地介绍了信息可视化的概念、技术和应用。通过本书的学习，读者可以了解信息可视化的基本概念和知识，同时培养可视化和交互设计的基本技能。阅读本书需要了解计算机系统的基本背景知识。本书适用于计算机及相关专业本科生、研究生以及相关领域的研究人员和专业技术人员。

本书的翻译过程得到了原书作者Robert Spence教授的大力支持，他不仅帮助我厘清了容易出现歧义的内容，还无私地分享了部分教学幻灯片。在此我谨向Robert Spence教授表示最诚挚的谢意。同时我也要感谢培生教育出版集团和机械工业出版社各位编辑的热心帮助。由于水平所限，翻译难免存在不妥和疏漏之处，敬请广大读者予以批评指正。

陈雅茜

2011年8月

数据无处不在：组织管理人员对各个市场的盈利进行分析以决定来年的营销策略；父母为选购汽车而查看最新的汽车行业标准；学生在提交入学申请前浏览各大学的相关数据和图表。人们生活的方方面面都充斥着数据。不幸的是，这些数据常常是大量未经组织的数字和文字，人们难以理解并从中得出启示。

我们怎样帮助人们认识并理解这些数据呢？通过更合理的组织、创建数据结构以及提供有意义的数据描述，我们可以将数据转化为人们更容易且更能迅速探索的形式。这正是信息可视化的核心任务。有效的视觉描述可以帮助人们浏览并理解数据中包含的信息。正如Don Norman和Stuart Card指出的，可视化对人们的记忆和思维起着外部认知辅助的功能。包括本书介绍的示例在内的信息可视化系统结合了数据的说明性描述和交互式用户界面，使得人们可以从很多不同的角度对数据进行探索。

信息可视化由两个重要部分构成。首先是实现数据描述必需的支撑性技术基础。数学、计算机图形学和用户界面技术帮助研发者创建反应迅速的、清晰的，甚至是美观的可视化工具。信息可视化的第二个重要组成部分是人类用户。如果对信息搜索任务和信息可视化用户目标没有深刻的认识，很难开发出实际可用的系统。要想开发出有效的信息可视化系统，就必须对人类感知和认知能力有着深刻的理解。

在大量反映概念和理论的实例帮助下，Robert Spence在本书的第1版中为信息可视化提供了一个易于理解的简介。Robert Spence在这一领域长期优秀的表现，如对焦点+上下文技术、高交互度的信息显示系统Influence和属性浏览器，以及融合了动画模拟的RSVP显示技术等的研究，使他成为撰写信息可视化入门教材的最佳人选。

在本书第2版中，Robert Spence对第1版的内容做了全新的重组并进行了大量的文字修改，重点突出了数据描述、数据表示和交互这三个主要概念。与信息可视化系统研发者为新应用领域研发系统时所做的一样，为了帮助用户（即本书读者）更好地理解信息可视化的主要概念，Robert Spence为本书建立了一个清晰的结构。本书思路清晰，具有很好的启发性，详细介绍了该领域的主要概念及其重要性。

和第1版一样，第2版引用了信息可视化及其系统的大量的实例和案例分析。这些实例包括Florence Nightingale对Crimean医院的描述和Harry Beck的伦敦地铁地图等经典的信息可视化图形，以及使用了精密技术的现代交互式计算机图形界面。理解信息可视化的最佳方法是观察，Robert Spence为读者提供了丰富的优秀实例，这些例子也启发了信息可视化的未来发展方向。此外，样本习题、教学课件和视频等在线资料使得本书成为一本优秀的教科书。

John Stasko
佐治亚理工学院

前　言

Information Visualization: Design for Interaction, 2E

本书第2版延续了第1版旨在为广大本科生和硕士生提供导论的目标，在结构和内容上相对于第1版做了很大变动。

• 结构

我逐渐意识到如果采用另一种结构，第1版中的素材会给学生和其他读者带来更多的好处。因此（见下面的示意图），在惯有的简介性章节（第1章）之后，我在第2章中用了整章的篇幅，通过一个可视化工具的详细介绍阐明了信息可视化（IV）的三个要素：*数据描述*（数据的视觉或声觉编码）、*数据表示*（对已编码数据的选择和布局）和*交互*（获取不同的数据“视图”）。另外，我认为应该从上下文角度来看待信息可视化（感谢应用需求所带来的各种限制条件），因此我添加了一章包含多个案例分析的总结性章节（第6章）。我希望该章的内容可以说服读者：和其他设计一样，信息可视化的应用在很大程度上也是一门需要交互设计师创造力的技艺。

• 术语定义和参考文献

和很多宣扬信息可视化的定义不同，我特别强调信息可视化和用户对数据的心理模型之间的关系。一个与此类似的观点认为将“视觉”和“可视化”分开会在很大程度上误导读者。需要注意的是，虽然数据的声觉编码并不常见，但也不容忽视。本书提供的术语表反映了我长期关心的一个问题：虽然很多人希望看到信息可视化相关术语的清晰定义，但是很多术语，如“浏览”、“定位”和“查找”等，都没有精确的定义。学生们应该得到更好的解释。如果读者对本书中的任何定义存有异议，那至少我们的讨论又多了一个着手之处。

关于参考文献，很多在20世纪60至80年代诞生的信息可视化成果要么未被引用，要么被人遗忘，在本书中我努力通过引用原始参考文献的方式向每个概念或技术的创始人致敬。考虑到本书并不是一本科研专著，因此重要的参考文献应该能帮助有兴趣的学生进行更深层次的学习。他们可以参考Card、Shneiderman和Mackinlay所著的《Information Visualization: Using Vision to Think》（2004版）（信息可视化：视觉思考）一书中介绍的多篇优秀论文。

• 人类行为

第2版和第1版的另一个不同之处在于对人类认知行为的关注。当注视显示数据时，用户经常会有一系列快速的眼球运动，他们对所见进行理解，依据相关经验来决定对数据的下一步观察。所有这些行为都在用户的记忆中不断创建和修改数据的心理模型，有时甚至会修改需解决的问题。如果缺乏对这些人类行为哪怕只是粗略的理解，可视化工具的设计将不能充分利用人类能力或信息可视化潜力。然而，本书的重点在于信息可视化而非人类感知和认知，因此，本书中没有专门的介绍人类行为的章节。我只在非常重要的情况下以及不影响整体结构的前提下，才对相关人类行为进行了介绍，相关文字用仿宋体标明。对人类行为感兴趣的读者可以参考Colin Ware所著的非常优秀的《Information Visualization: Perception for Design》（2004版）（信息可视化：设计感知）一书。

• 读者

关于目标读者群，虽然信息可视化已被证明有着很广泛的应用范围，但是第1版还是主要针对计算机科学方向的大学课程。我希望除了学生之外，不仅软件工程师对信息可视化的了解能帮助他们进行更好的软件设计，其他众多的专业人士，如警官、银行家、经理、在线经销商等，也能从信息可视化应用中受益。我们并不期望他们成为IV专家，但是希望他们的专业知识能在可视化工具的使用和评估中发挥积极的作用。

• 视觉分析

我最近碰到了一个新术语“视觉分析”。一开始我还在想它到底是什么，后来发现原来在过去的30年中我一直在和它打交道。这个“新”术语的定义“基于交互式视觉界面的分析推理科学”显示了该术语和本书的密切联系。另外，这个“新”领域还强调认知科学的重要性，这和我们前面提到的本书中介绍认知科学的文字不谋而合。

• 教学资源

第一次教授信息可视化课程时，我为了组织各种图片和图表耗费了大量时间，对此我仍记忆犹新。因此，对于我所认识的超过50位的第1版用户，我和他们分享了我的幻灯片。这些资料在出版商的网站上可以免费获得。随书发行的DVD里有很多我认为很有用的视频剪辑，它们形象地展示了各种概念和技术。这些视频都比较简短（最短的只有4秒），因此不会影响正常的教学流程。附录中有对各个视频的介绍。

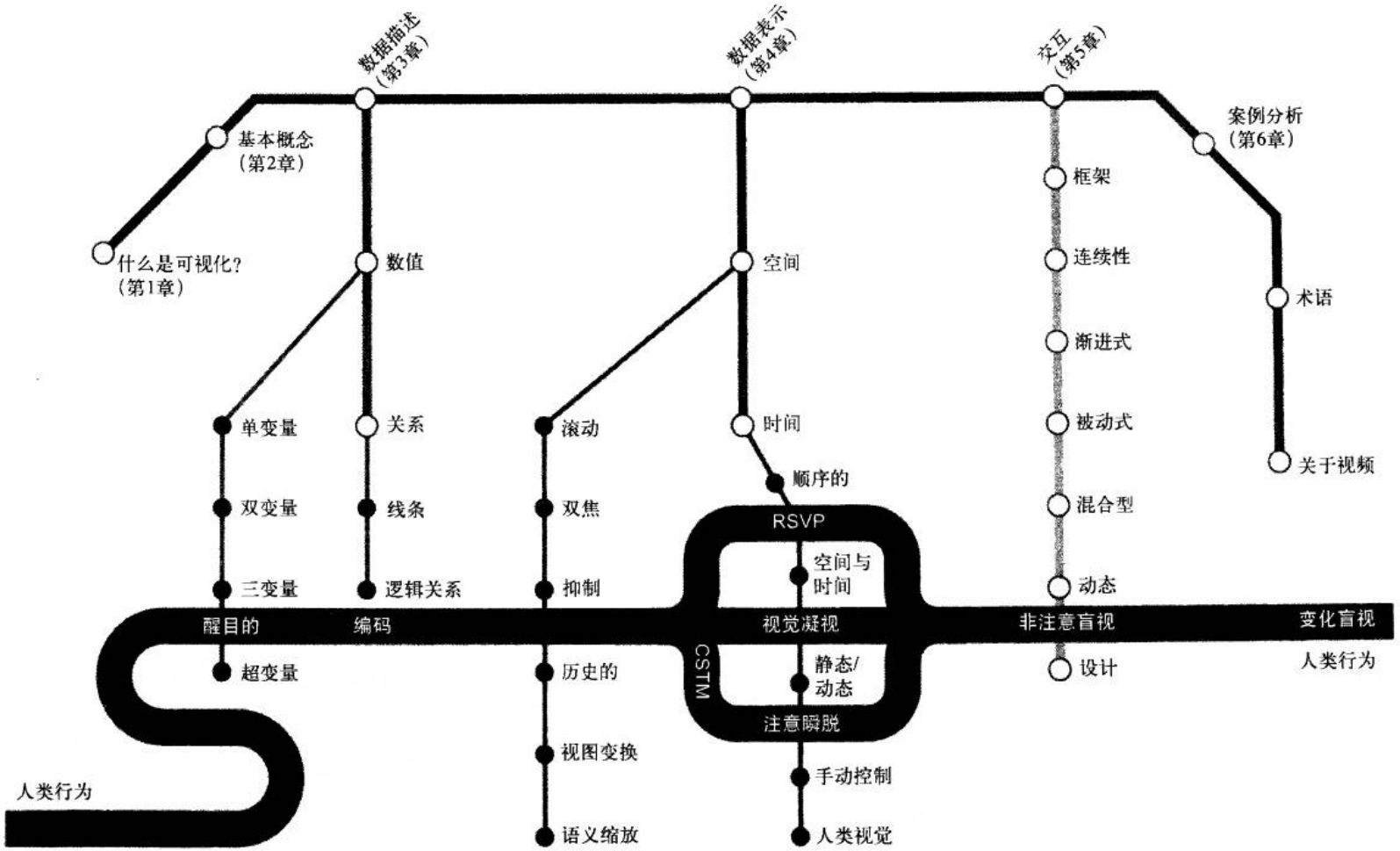
• 教学方法

我相信学习信息可视化的最佳方法是动手设计。因此，我一般不要求学生上交考试论文，而是要求他们完成各种不同难度（从简单但具有挑战性的到非常难）的设计习题。我还要求他们对设计进行改进，把设计结果张贴在教室墙上，这样有助于教师和学生之间的讨论，从而增强教学效果。即使只用彩色铅笔和纸，学生们也能从本书中的设计习题中学到很多东西。

我要特别强调第6章中的习题。我在埃因霍温理工大学和其他一些地方都将其作为一个两周的教学成果测试。学生们分成4人小组，要求他们在4天内完成项目，有些组选择了自拟题目。除了体现设计所必需的编程能力，这些练习并不要求学生们有高超的编程技巧，我们检验的是和信息可视化相关的创造力而不是编程能力。第二天后每组做一个20分钟的关于该组最新进展的中期报告，并回答其他同学和教师的提问。为了模拟实际的汇报过程，我要求学生最终提交不超过4页的ACM会议论文格式的报告（不允许出现附录或图片）。

Robert Spence

2006年6月于伦敦


数据描述
（第3章）
数据表示
（第4章）
交互
（第5章）
基本概念
（第2章）
什么是可视化？
（第1章）
数值
空间
框架
连续性
渐进式
被动式
混合型
动态
设计
案例分析
（第6章）
术语
关于视频
单变量
双变量
三变量
关系
线条
逻辑关系
滚动
双焦
抑制
时间
顺序的
RSVP
空间与
时间
静态/
动态
注意瞬脱
CSTM
视觉凝视
非注意盲视
变化盲视
人类行为
醒目的
编码
超变量
历史的
视图变换
语义缩放
手动控制
人类视觉
人类行为

如果没有同很多人或多或少的交流，我不可能完成这本书的写作。我该从何说起呢？

我想首先从荷兰埃因霍温理工大学的用户系统交互研究生课程说起。我每年有两个月的时间会在此教授该课程的信息可视化部分。每年课程内容的更新以及活跃的课堂讨论对本书的大纲和主要内容的成形起到了关键性作用。谢谢这些人们（你们知道我说的是谁）！除了荷兰，我也在伦敦、吉隆坡、新加坡等世界各地授课。教授这些课程也需要不断地思考，这也帮助我完成了对本书的构想。

从和我一起合作的研究者那里我学到了很多：早在1971年和Mark Apperley的合作，20世纪90年代初和Lisa Tweedie的合作，以及20世纪90年代末和Oscar de Bruijn的合作等。最近和Mark Witkowski、Catherine Fawcett以及Katy Cooper的合作对我的研究工作和本书的写作起到了非常关键的作用。

很多人在各种场合中和我分享了他们的想法：比如在会议中、在泰晤士河的观光船上或在一家非常棒的希腊餐厅进餐时。这些人里包括交互设计师Ron Bird，三菱研究实验室的Kent Wittenburg，伦敦大学学院的Brock Craft，飞行员Paul Hough、Herr Rudensteimer和Varnavas Serghides，瑞典国防研究局的Par-Anders Albinsson以及Bill Buxton。很多人非常慷慨地和我分享了他们的建议、信息和图片：麻省理工学院的Mary Potter博士（人类视觉处理）、斯坦福大学的Barbara Tversky（记忆）、Tom Oldfield（生物信息学）、George Furnas（鱼眼透镜）、Andy Cockburn（缩放和平移）、Carl Gutwin（变形评估）、Harri Siirtola（平行坐标图）、Pourang Irani（移动基站）、Xerox PARC的Ed Chi和Peter Pirolli（气味）、交互设计师Alison Black、Chris Ahlberg（Spotfire公司的CEO）、Gerard Conway（制药业）、Soon Tee Teoh（一致性和相关性）、Lin Freeman（社交网络）、Adena的Christiaan Fluit（族群图）、Ben Bederson（PDA日历）、Wendy Hodges和Timothy Rowe（有角蜥蜴）、Keith Andrews（InfoSky）、Chia Shen（交互桌面）以及Marcus Watson（声学编码）。我对你们表示最诚挚的谢意。

非常感谢本书每一稿的审阅人所提出的宝贵的批评意见，其中的一些意见促使我对本书的内容和结构做了重大的变动。我要特别感谢John Stasko、Lisa Tweedie、Catherine Plaisant、Par-Anders Albinsson、Harri Siirtola和Pourang Irani所提出的宝贵建议。

感谢伦敦帝国理工学院媒体中心的Colin Crimshaw、Martin Sayers和Neville Miles无数次耐心地、专业地和创造性地为我提供了对信息可视化教学至关重要的各种静态和动态的图片。感谢伦敦帝国理工学院的Ellen和Don经常帮助我查阅参考文献。

培生教育集团（Simon Plumtree）的Elizabeth Rix和Vivienne Church为本书的出版发行投入了非常多的精力。他们的热情和耐心给我留下了非常深刻的印象，同他们一起工作我感到非常开心。

最后，我要感谢这样一群人，他们不是信息可视化专家，但从很多方面对我的工作给予了无私的帮助。特别感谢Annie、Bill、Wendy和Wiesia。

作者和出版商非常感谢以下人员对版权所有资料的翻拍授权：

感谢Ken Garland对图1-5 Harry Beck的照片的翻拍许可。感谢美国国家环境保护局空气质量规划和标准办公室空气质量分析小组的David Mintz对图3-19的翻拍许可。图3-25得到Dan Smith的《The State of the World Atlas》（第6版）的翻拍许可（Myriad Editions/www.Myriad-Editions.com版权所有）。图3-78 来自H.F. Stingmore（1927年）设计的伦敦地铁地图。图3-79来自Harry Beck（1933年）设计的伦敦地铁地图（伦敦交通博物馆版权所有）。图4-29来自www.streetmap.co.uk，得到Collins Maps和Atlases的翻拍许可。

有些材料我们无法找到版权所有者，若有人能提供相应信息，我们将不胜感激。

有人曾经评论Robert Spence在他的研究领域中过着双重生活。人机交互（Human-Computer Interaction, HCI）领域的专家们不了解他对数字电路的理论和设计所做出的大量先驱性工作。同样，数字电路领域的专家们也不知道他对人机交互领域的贡献。Robert Spence在这两个看似迥然不同的领域内所做出的杰出贡献令他获得了多个博士头衔。HCI和电路设计这两个领域的区别是显而易见的，然而，Robert Spence在HCI领域的初始工作正是源于为数字电路设计师寻找有效设计工具的需求。这一因素驱动了用于电路设计的第一个交互式图形工具MINNIE的诞生。随后MINNIE展示了它的商业价值：Robert Spence创立了一家公司，并任董事长，对MINNIE进行了研发和商业运作。在20世纪60年代末及20世纪70年代初，虽然信息可视化这一术语尚未出现，但Robert Spence及其团队的先驱性工作就已催生了很多早期的信息可视化技术。有评论认为屏幕计算器就是由Robert Spence的团队率先提出并实现的。他的团队在最近20年间见证了信息可视化工具在20世纪90年代的爆炸式发展，同时在很大程度上受到了来自工程设计师的需求鼓励。

Robert Spence对HCI做出的最知名的贡献当数在1980年和Mark Apperley（现就职于新西兰怀卡托大学）共同提出的首个焦点+上下文的双焦显示技术。自此以后，该技术催生了信息可视化领域内的大量研究活动，相关技术的应用也已经商业化。

目前，Robert Spence是伦敦帝国理工学院信息工程学的名誉退休教授。他现在仍在教授电子工程和人机交互方向的课程。他目前的研究兴趣主要集中在“快速序列视觉表示”这一新颖技术。除此之外，他的大部分时间都花在了全世界范围的信息可视化课程的教学上：“只要有必要的教学任务我就会旅行”是他的座右铭。

Robert Spence的杰出贡献令他在1990年成功地获得了英国皇家工程院（相当于美国国家工程院）的资助。

以下是本书作者的其他出版物：

- 《Linear Active Networks》（1970年，Wiley）
- 《Tellegen's Theorem and Electrical Networks》（1970年，MIT出版社），与Penfield和Duinker合著，现有俄文和中文译本
- 《Resistive Circuit Theory》（1974年，McGraw-Hill）
- 《Modern Network Theory-An Introduction》（1978年，Georgi），与Brayton、Chua和Rhodes合著
- 《Sensitivity and Optimisation》（1980年，Elsevier），与Brayton合著
- 《Computer-aided Circuit Design》（1980年，Prentice-Hall），与Burgess合著
- 《Tolerance Design of Electrical Circuits》（1988年，Addison-Wesley），与Soin合著。现有日文译本

译者简介

Information Visualization: Design for Interaction, 2E

陈雅茜，女，博士，西南民族大学计算机科学与技术学院教师，教授“数据结构”、“信息可视化”、“人机交互”等专业课程。2007年获国家留学基金委（CSC）全额奖学金资助赴德国慕尼黑大学从事人机交互方向的博士学位研究。主要研究兴趣包括人机交互、信息可视化、信息检索和推荐系统等。其间积累了丰富的交互式设计经验，对信息可视化的研究背景、现状及存在问题有较深的认识。由于科研教学表现突出，于2009年10月～2009年12月间获德国德意志学术交流中心（DAAD）STIBET科研助教奖学金。2010年以“优秀”成绩获得德国慕尼黑大学自然科学博士学位。

出版者的话
译者序
序
前言
致谢
作者简介
译者简介

第1章 什么是可视化 ……1
1.1 可视化……3
1.2 计算支持……4
1.3 人类用户……7
1.4 信息可视化的价值……8
1.4.1 诈骗案 ……8
1.4.2 芯片设计 ……8
1.4.3 制药业 ……8
1.5 相关领域……8
1.6 术语……9
习题 ……10

第2章 基本概念 ……11
2.1 任务 ……11
2.2 问题的本质 ……11
2.3 数据 ……11
2.4 表格表示 ……12
2.5 条形图 ……12
2.6 交互式对象选择 ……12
2.7 总图 ……13
2.8 多属性 ……13
2.9 细节 ……14
2.10 显著对象 ……14
2.11 交互式属性选择……14
2.12 空间局限性 ……15
2.13 过滤 ……16
2.14 小结 ……16
2.15 定位帮助 ……17
2.16 在信息空间中的移动 ……17
2.17 感知与解释 ……19
2.18 总结 ……19
习题 ……19

第3章 数据描述 ……20
3.1 数值编码 ……21
3.1.1 单变量数据 ……21
3.1.2 双变量数据 ……25
3.1.3 三变量数据 ……31
3.1.4 超变量数据 ……41
3.2 关系编码 ……52
3.2.1 线段 ……54
3.2.2 图和图表 ……59
3.2.3 树的描述 ……63
3.3 设计支持 ……69
习题 ……70

第4章 数据表示 ……72
4.1 空间局限 ……73
4.1.1 滚动 ……73
4.1.2 总图+细节 ……73
4.1.3 变形 ……76
4.1.4 抑制 ……83
4.1.5 缩放和平移 ……87
4.2 时间局限 ……89
4.2.1 快速序列视觉表示 ……89
4.2.2 空间和时间资源 ……92
4.2.3 表示模式 ……95
4.2.4 手动控制 ……96
4.2.5 人类视觉行为模式 ……97
4.2.6 交互设计 ……98
习题 ……99

第5章 交互 ……101
5.1 交互框架 ……106

5.2 连续式交互 ……107
5.3 渐进式交互 ……111
5.3.1 离散信息空间 ……111
5.3.2 定位 ……112
5.3.3 敏感度 ……112
5.3.4 残留物 ……116
5.3.5 气味 ……119
5.3.6 我现在在哪里 ……121
5.3.7 支持定位的设计指导原则 ……124
5.4 被动式交互 ……124
5.4.1 静态显示 ……125
5.4.2 浏览 ……125
5.4.3 动态显示 ……126
5.5 混合型交互 ……128
5.6 交互动态性 ……131
5.6.1 心理模型 ……131
5.6.2 盲视 ……133
5.6.3 视觉要素 ……133
5.7 交互设计 ……134
习题 ……135
第6章 案例分析 ……136
6.1 小型交互式日历 ……137
6.1.1 时间规划 ……137
6.1.2 设计哲学 ……138
6.1.3 背景 ……138
6.1.4 日历视图 ……140
6.1.5 交互控制 ……140
6.1.6 搜索 ……140
6.1.7 可用性研究 ……141
6.1.8 观察 ……142
6.1.9 满意度和偏好 ……143
6.1.10 可用性 ……143
6.1.11 主要参考文献 ……144
6.1.12 其他参考文献 ……144
6.2 从多个对象中选取一个对象 ……144
6.2.1 问题定义 ……144
6.2.2 任务 ……144
6.2.3 已有解决方案 ……145
6.2.4 条形图 ……146
6.2.5 预示 ……146
6.2.6 EZChooser ……146
6.2.7 敏感度 ……148
6.2.8 相关工作 ……149
6.2.9 评估 ……150
6.2.10 评论 ……151
6.2.11 主要参考文献 ……151
6.2.12 其他参考文献 ……151
6.3 基于锁眼的网页浏览 ……151
6.3.1 寻找新闻 ……151
6.3.2 问题定义 ……152
6.3.3 解决方案 ……153
6.3.4 RSVP浏览器 ……154
6.3.5 系统设计 ……155
6.3.6 评估 ……156
6.3.7 讨论 ……158
6.3.8 评论 ……158
6.3.9 主要参考文献 ……158
6.3.10 其他参考文献 ……158
6.4 通信分析 ……159
6.4.1 命令和控制 ……159
6.4.2 系统要求 ……159
6.4.3 MIND工具 ……159
6.4.4 探索式分析 ……160
6.4.5 情景 ……160
6.4.6 结论 ……161
6.4.7 主要参考文献 ……161
6.5 文档银河 ……162
6.5.1 大型文件集合 ……162
6.5.2 背景和需求 ……162
6.5.3 早期工作 ……162
6.5.4 设计决定 ……164
6.5.5 交互和查询 ……166
6.5.6 布局 ……167
6.5.7 评估 ……168
6.5.8 主要参考文献 ……169
6.5.9 其他参考文献 ……169
习题 ……169
术语 ……171
关于视频 ……174
参考文献 ……188
索引 ……198

什么是可视化

在过去15～20年间，信息可视化应用得到了飞速发展，这一发展得益于计算机及相关技术的普及。信息可视化（Information Visualization, IV）的本质可以通过以下四个诞生时间远早于计算机的经典例子得以充分展示。

图1-1是一幅由拿破仑的绘图师Monsieur Minard绘制的地图。该图描述了拿破仑的军队从波兰和俄罗斯交接处东征莫斯科以及之后的撤退。大多数看到这幅地图的人都不需要询问就可以看出地图中线条的粗细代表军队中的士兵数，灰色表示进军而黑色表示撤退。我们可以清楚地看到，44万士兵跟随拿破仑出征，但是最终只有1万人幸存了下来。地图下方标注了军队撤退途中遭遇到的罕见低温。军队横渡Berezina河时河面的冰层还不够结实，导致士兵数量急剧减少。总的来说，我们不需要仔细阅读相关资料就能从这幅地图中获得关于这次东征的大量信息。即使不再看这幅地图，它的重要特点也将在很长一段时间后仍停留在我们的脑海里。当然，我们也应该注意到这幅地图完全不适合作为征兵宣传画。

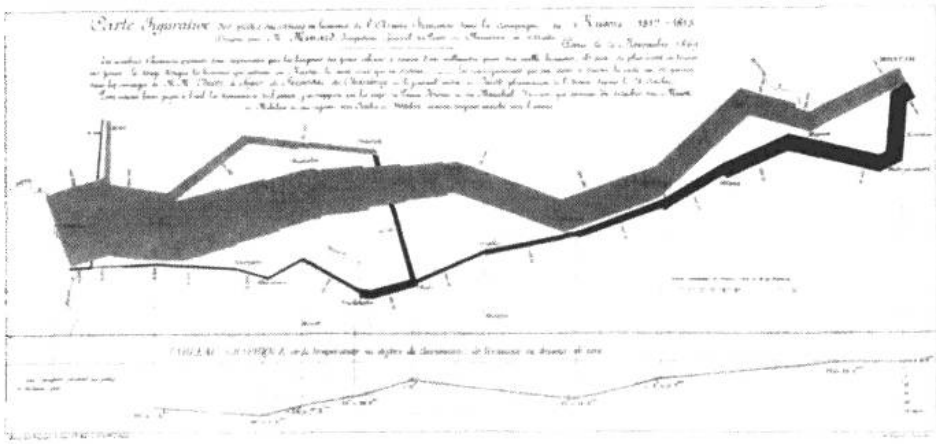


图1-1 Minard地图描述了拿破仑东征莫斯科及撤退的情况。图片来源：Tufte（1983）

第二个例子来自于Florence Nightingale（1858）写给英国政府的一份报告。报告记录了她在1858年的克里米亚半岛战争中对Scutari医院所做的改革。她设计了如图1-2所示的图表，图中每个放射状部分的面积同医院每个月的死亡人数成正比，角度大小同该月内的天数成正比。从图中可以清晰地看到，从Nightingale引入改革后医院死亡人数逐月下降。作为对比，图表中心的圆圈表示同时期英格兰的一家军医院。Nightingale通过这样一个清晰而简单的图表向英国政府形象地展示了她的改革成果。同样，我们不需要回顾这个图表就能深刻地记住Nightingale的改革成果和对“玫瑰花瓣”图表的视觉记忆[⊖]。

⊖ Nightingale报告的附录中附有非常详尽的处方。我们强烈建议在细读Crimean医院的细节前应仔细研究Nightingale或其他人的处方。

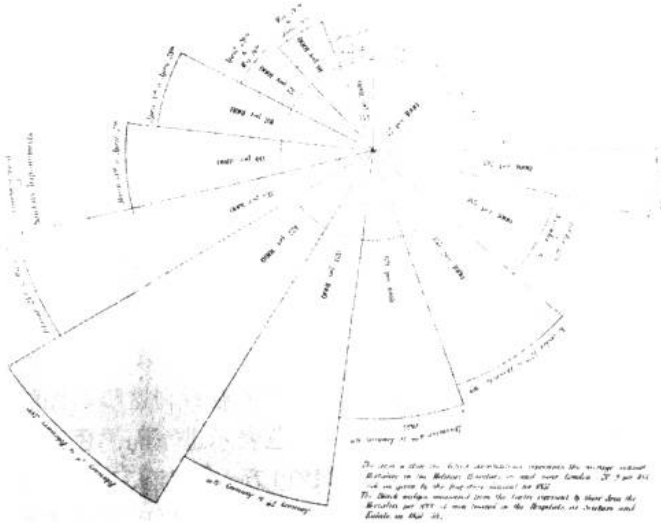


图1-2　Florence Nightingale的图表显示在她引入一系列改革措施后Scutari医院死亡人数大幅下降。图片来源：Nightingale（1858）

第三个例子源自1854年一场袭击了伦敦Soho区的霍乱。当时负责疫情控制的是伦敦地区的医务官John Snow医生。图1-3是一幅该区的地图，其中点表示死亡地点，叉表示居民取水点。在仔细研究了该地图后，Snow发现大多数死亡集中在Broad街的取水点附近。他随即决定关闭该取水点。实施这一措施后，霍乱死亡人数有所下降（Tufte, 1997）。我们注意到附近一家酿酒厂的工人中得霍乱的人数相对较少，至于原因大家可以充分发挥自己的想象力。为了纪念Snow的贡献，一家当年Broad街（现已令人费解地改名为Broadwick街）取水点附近的俱乐部以Snow的名字命名（见图1-4）。



图1-3　1845年伦敦Soho地区地图，图中显示了霍乱死亡人数（点）和取水点位置（叉）。图片来源：Tufte（1983）

⊖ 此页码为英文原书页码，与索引中的页码一致。——编辑注



图1-4　位于伦敦Broadwick街的John Snow俱乐部

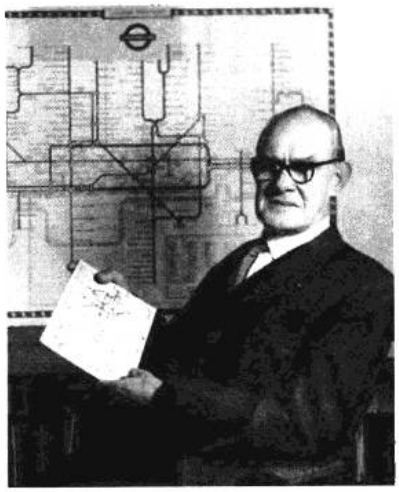


图1-5　著名的伦敦地铁地图的发明者Harry Beck。图片来源：Ken Garland

最后，我们来看一个比较近代的例子。1931年，Harry Beck（见图1-5）是一位失业的制图人。然而，用Bill Bryson（1998）的话来说，Harry Beck“意识到当处于地下时，人们所在的位置并不重要，只要所有站台按正确顺序排列并且换乘信息清晰明确，就能任意地调整甚至取消比例尺。他赋予了地图类似电信网的有序性和精度，从而创造了一个全新的与地面城市杂乱的地理信息完全无关的地下伦敦（London Underground）”。起初人们并不确定Beck的这个想法是否是个好主意，他获得的微薄报酬和该图在世界范围内对大多数交通系统图的深远影响形成了鲜明的对比（Ovenden, 2003）。Harry Beck的故事是奇妙的（Garland, 1994）。和前面三个例子一样，这幅交通图给读者留下了深刻的印象。对于在伦敦生活和工作的人们来说，这幅“管道图”易于记忆（虽然没提供全部细节），并且有助于旅程规划。

3
~
4

1.1　可视化

以上四个例子的共性在于读者观看这些图表后得到的结论。人们无须画草图或记笔记，也没有用到任何的计算机技术，结论完全产生于观者的大脑中。我们可以说：得出这些结论需要**信息启示**（insight）或理解，这和可视化的字典定义一致：

可视化　对某事物建立心理模型（mental model）或心理图像（mental image）。

因此，可视化是和计算机无关的纯粹的人类认知活动。需要指出的是，可视化的“视觉”含义并不表示这些活动只涉及视觉经验。除了图形之外，声音和其他感知形式都可以用作数据描述。

我们看到，信息可视化活动可以总结为如图1-6所示的简单图表：以某种形式表示的数据（data）被转化为图形，由用户对其进行解释。图中用“Ah HA!!”来表示用户看到数据图形编码并发现有用信息后的反应。为了表明用户对数据的理解过程，图1-6将数据和信息做了明确的区分。信息可视化的主要任务是帮助用户从数据中提取信息。我们经常听到的信息过载从本质上来讲应该叫做数据过载：信息过载也许只是一种期待中的奢侈！

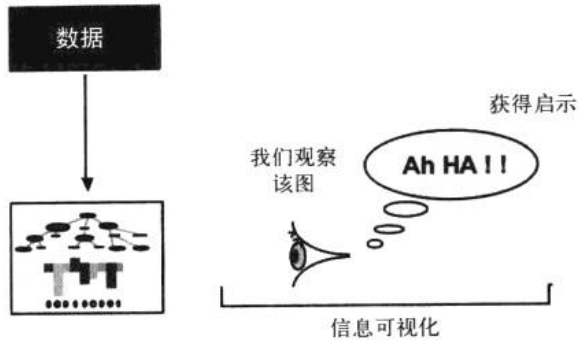


图1-6　信息可视化过程。通过观察数据的图形编码来为其构建心理模型（见彩图）

图1-6中的数据有多种类型。例如，Minard地图中的温度是数值型数据（numerical data或quantitative data），分别表示进军和撤退的灰色（原图中为红色）和黑色属于顺序型数据
5 (ordinal data)；Snow的Soho地图中分别表示为点和叉的死亡地点和取水点属于类别型数据(categorical data)。关系（relationship）数据在Beck的管道图中得到了最好的体现。作为重要性不断增长的一种数据类型，文字不包含特定的顺序或数值，因而属于类别型数据。无论数据本质如何，Simon（1996）的评论简明地体现了信息可视化的基本思想：

……解决一个问题意味着用某种方法对其进行描述，从而使得解决方案透明化。

当然，要找到有效的数据描述方法并不容易，这也是信息可视化领域从业者和研究人员的主要挑战和迷人之处。

在讨论计算机为什么可以支持以及如何支持可视化活动前，我们认为有必要强调数据的纸型（paper-based）显示的重要性。正如一幅简单直观的图表能帮助Florence Nightingale说服英国政府一样，这样的图表可以加深对方对你的印象，从而帮助你从风险投资家手中得到资金，从教授那里得到积极评估，或者加深诈骗案审判中陪审团对你的好感。很多情况下，数据的有效描述将起到决定性的作用。对于读者而言，直观的图表比直白的文字更持久也更易于回想。例如，此时你也许不需要翻到前面的章节就能回忆起Minard、Nightingale、Snow和Beck所绘图表中的重要信息[⊖]。

1.2　计算支持

在最近15～20年间，计算机成为推动信息可视化领域快速发展的重要因素之一。

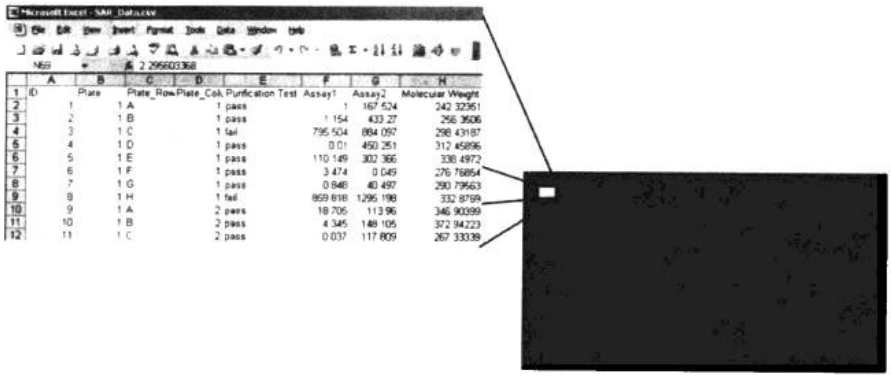
其主要原因有三。首先，价格不断降低、存取速度不断提高的存储器使得对公司（特别是保险业和制药业）和政府海量数据的存储变得现实。其次，不断提高的计算能力允许对数据子
6 集进行快速交互的选取以支持灵活的探索[⊜]。第三，高分辨率图形显示器保证了数据描述与人

⊖ 其他代表性的信息可视化例子可参见Tufte（1983）的书以及Michael Friendly的图片库（http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery）。

⊜ 当用户不能根据需求对数据做选择时，情况就有所不同了。荷兰火车站的纸质海报就是一个典型的例子。它可以帮助旅客查明从当前站点到任一目的地的路线。面对纸质海报，用户无法进行眼球运动以外的任何选择操作。读者可能会想到的一个解决办法是允许旅客选择个性化数据，但在本书的后续章节中我们将看到这一方法的实现将面临很多的困难。先进的交互式信息可视化并不能抹杀数据静态描述的价值。在本书的后续章节中我们将看到在某些情况下对同一数据的静态描述所花费的用户认知成本要比动态描述低。

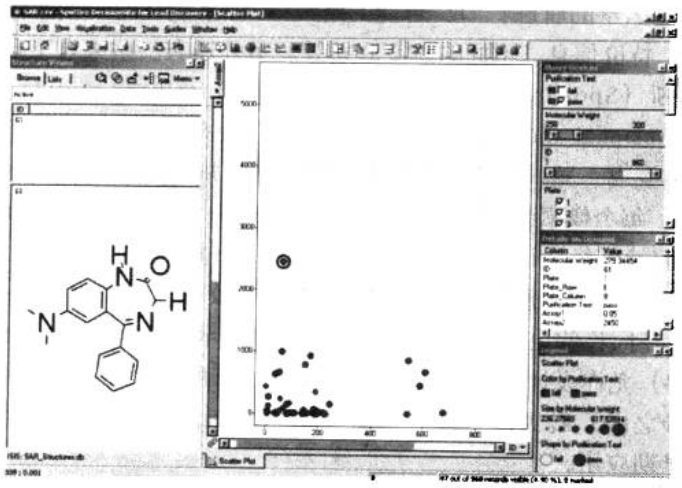
类视觉和感知系统的匹配。下面的两个例子将简要地展示计算机在这三个方面的优势。

Spotfire™是一个强大的**可视化工具**，主要用于制药业的新药研制[⊖]。在药品研发初期必须对成千上万种物质的多种属性进行检查。将如此大量的数据存入如图1-7a所示的传统表格中并不能降低理解的难度。Spotfire™允许经过训练的用户选取某个数据子集，系统将其表示为更易于理解的多种视觉形式，用户可以与之交互以检查其分子结构（见图1-7b）。在新药研制过程中需要用到大量类似的数据视觉描述。



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID	Plate	Plate_Row	Plate_Col	Purification Test	Assay1	Assay2	Molecular Weight
2	1	1	A	1	pass	1	167 524	242 32361
3	2	1	B	1	pass	1 154	433 27	256 3606
4	3	1	C	1	fail	795 504	884 097	298 43187
5	4	1	D	1	pass	0 01	450 251	312 45896
6	5	1	E	1	pass	110 149	302 366	336 4972
7	6	1	F	1	pass	3 474	0 049	276 76854
8	7	1	G	1	pass	0 848	40 497	290 79563
9	8	1	H	1	fail	859 818	1295 198	332 8769
10	9	1	A	2	pass	18 705	113 96	346 90399
11	10	1	B	2	pass	4 345	148 105	372 94223
12	11	1	C	2	pass	0 037	117 809	267 33339

a) 用于新药研究的表格。该表格中有多行代表化合物的数据。每种化合物拥有14项属性。从该表格中获取信息启示是很困难的



b) 对表格数据的视觉编码可以增强理解。在本例中，图表的坐标分别为属性“ID”和“Assay 1”。颜色和形状均表示是否通过了某种提纯测试，大小表示分子重量。某种化合物经过识别后，其分子结构将显示在左边（图片感谢Spotfire公司惠允）

图1-7　用于新药研究的表格及对表格数据的视觉编码（见彩图）

第二个简单例子展示了数据视觉描述重组（rearrangement）的价值。图1-8a展示了对10种玉米品种做7种不同处理（例如喷雾或施化肥等）的实验结果。黑色和白色方块分别代表成功和不成功的处理方式。将图1-8a所示矩阵的部分行和列稍做调整即可得到图1-8b：从中可以立

⊖ 和我们对可视化的定义一致，我们将可视化工具定义为显示（通常为）视觉编码的数据并支持可视化过程视图的计算机系统。和通常的看法不同，我们认为不能简单地用“可视化”一词来描述在屏幕上所看到的内容。

即发现某些处理方式对特定的玉米品种有效。当然，这些发现会令农业专家产生一些疑问，进而对其他数据做检查以期对这些发现做进一步的解释。这个例子说明可视化通常需要对数据的不同视觉描述做反复检查。本例展示了数据描述的优势以及合适的算法对交互式探索的帮助，图1-8只是其中最简单的一个实例。

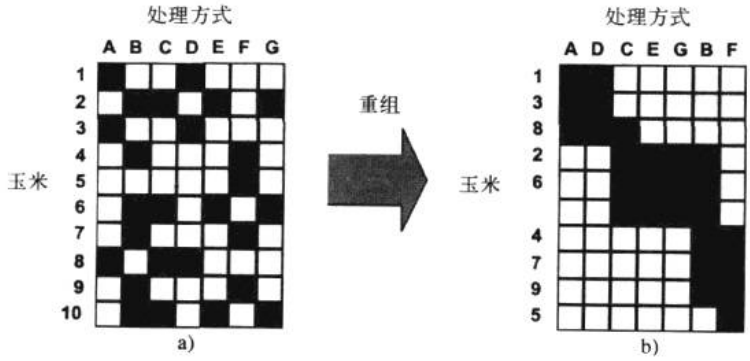


图1-8　对数据的视觉描述进行重组有助于发现新的信息启示

7
~
8

通过以上两个例子的讨论再加上亲身经历，读者可以体会到在不同的数据子集之间进行灵活切换的价值。安排到旅游目的地的航班就是这样一个典型的例子。如果是通过Web进行此项操作，用户将查看大量的网页（视图）以构建心理模型，其中包括可供选择的航班时刻（“Granny能否赶上这么早的航班？”）、可能的路线（“如果能在比萨稍作停留，看看比萨斜塔就好了”）、总费用、特价信息、不同的航空公司等。另外还有一些来自工业和商业的例子：新药研制中的决策判断（Spotfire）、芯片生产线的控制（Inselberg, 1997）以及犯罪活动调查（Davidson, 1993；Westphal and Blaxton, 1998）等。在所有这些例子中，现代计算机技术有助于数据多种视图的生成。这些应用同时也得益于高分辨率的图形显示器：在某些例子中（Keim *et al.*, 1993），每个像素都被充分利用起来以形成一个方便用户理解的显示图像。

早在30年前人们就已经认识到强大的计算能力和高分辨率显示器对信息可视化的重要性。在图1-9所示的电路图中，圆形的大小代表部件属性的改变对电路整体性能的影响（Spence and Drew, 1971）。在同样的电路设计背景下，图1-10所示的即时反应的交互式界面（Spence and Apperley, 1974）允许设计师通过调节右侧的滑块来手动修改某个部件的属性，并且可以立即（例如在0.2秒之内）看到该修改对电路性能的影响。该例子是“动态查询”（dynamic querying）的一个早期应用。

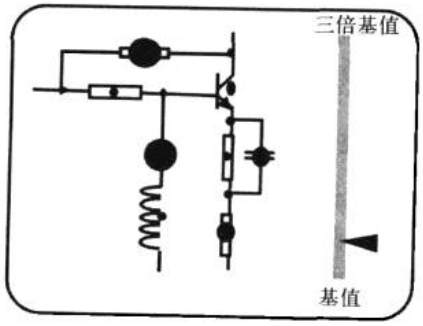


图1-9　圆形的大小表示部件对电路整体性能的影响

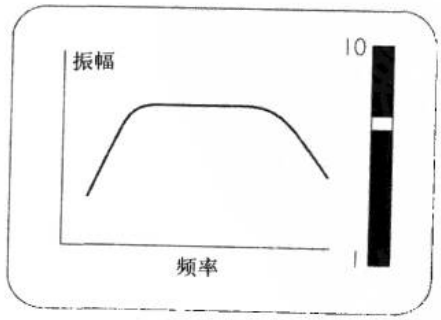


图1-10　该界面允许用户动态地查看部件属性的改变对电路整体性能的影响

9

1.3　人类用户

我们在1.2节中讨论了计算机及其相关技术在信息可视化领域（特别在近几十年间）的重要性。我们应该意识到人类用户是如何进行数据交互的，交互设计者只有在理解了用户的需求及行为特点后才能更好地设计数据描述和图形表示。为了强调这一认知的重要性，我们将讨论三个和信息可视化直接相关的人类行为模式。可能有些读者会觉得有些发现是令人难以置信的。

第一个实验的素材是一段视频，主要内容是6个人在一个狭小空间内跑动并相互传球。参与者被要求观看这段视频一分钟，并统计某个特定女生接触到球的次数。在这段视频中出现了第7个装扮成一只大猩猩的人，他走入人群中，拍打胸部然后走出画面。虽然这次出现在大家全神贯注观察的画面中的侵扰显得奇怪并且不合时宜，但是所有参与者都没注意到这个人！当观看回放时，部分参与者甚至怀疑观看的是否是同一段视频。这种现象称为非注意盲视（inattentional blindness）（Simons and Chabris, 1999）。由于信息可视化需要用户聚焦于显示内容，非注意盲视所带来的损失是显而易见的。在意识到这一现象后，人们可以想象许多事故报告（“信息正盯着操作员但他没并注意到”）可能需要重新修订。

在第二个实验中，参与者被要求观看两张反复交替出现的图片并被告知这两张图片是不同的。尽管区别明显，很多参与者仍花费了15秒以上的时间才找到不同之处。这个现象叫做变化盲视（change blindness）（Rensink, 2002）。由于大多数信息可视化工具涉及对数据视图变化的观察，因此变化盲视对用户判断的影响也是很明显的。

第三个实验强调了可视化对数据的心理模型（通常也叫内部模型（internal model）或认知图（cognitive map））的依赖。Tversky（1993）强调将主观印象当做信息感知唯一途径的危险性，并指出了认知拼贴图（cognitive collage）的存在。例如，对于“Reno和Los Angeles哪个更靠西？”这个问题，由于Los Angeles属于加利福尼亚州，Reno属于内华达州，而内华达州在加利福尼亚州的东面，因此一个常见的却是错误的回答（见图1-11）是“Los Angeles”。这个例子展示了对这些模型虽然简单但却是错误的组合。



图1-11　一幅显示了加利福尼亚州、内华达州以及两个城市Los Angeles和Reno的地图。该图展示了“认知拼贴图”的概念

以上列举的三个例子（更多的实例可参见参考文献）明确地指出，交互设计者必须对用户特点有深刻的认识才能设计出实用、有效的应用。这也是我们在适当时机对人类认知和感知处理进行介绍的原因。对这方面感兴趣的读者可阅读Ware（2004）的这一优秀的参考文献。

1.4 信息可视化的价值

毫无疑问，信息可视化是一个非常有趣的课题，但关于它的价值一直存在着争论。回答这个问题最有效的方法是举出实际例子，接下来我们就将通过三个例子来讨论这个问题。

1.4.1 诈骗案

英国严重诈骗案办公室花费了8年工作时间检查了48个抽屉的文档，终于锁定了一起建房协会诈骗案的犯罪嫌疑人（Davidson, 1993）并将其送上法庭，最终该犯罪嫌疑人被裁定为有罪。然而，一位独立调查人仅花了4周时间就通过一个信息可视化工具锁定了那位犯罪嫌疑人，工作效率提高了大约100倍。不仅如此，在这4周内他还查出了隐藏在该犯罪嫌疑人背后的犯罪主谋。这个故事吸引我们的地方在于极其简单的基于直线的数据显示方式（详情参见第3章）。

1.4.2 芯片设计

《财富》杂志的一篇报道向芯片制造业者展示了信息可视化的强大作用：

Texas Instruments公司为微处理器生产晶片，制造过程涉及400多个生产步骤，通常持续数周。监测过程中将为每个晶片收集14万条信息，其中某些信息是系统故障的报错消息。依靠这些信息，生产商可以在不合格芯片生产出来之前就及时地发现问题。

10 ~ 11

1.4.3 制药业

我们可以在制药业中找到类似的实例。Sheldon Ort曾在《财富》杂志的访问中谈到：

Eli Lilly公司有1500位科学家使用先进的信息可视化工具Spotfire进行新药研制。它可以显示多源信息并允许交互式地改变视图。这些功能帮助我们对特定分子进行观察，从而决定是否对其进行进一步的研究。

Spotfire公司2005年的年收益达到了3500万美元，这也从一个侧面证实了Spotfire的强大功能。

1.5 相关领域

科学可视化和地理可视化是两个和信息可视化相关并且有一定交叉的研究领域。它们的共同目标是帮助用户加深对数据的理解。在科学可视化中，用户所见通常和某一具体物理“事物”相关。例如，用不同的颜色代表有角蜥蜴表皮和骨骼间的距离（见图1-12），或者在等高线的基础上对云层成因进行分析。相对而言，信息可视化主要关注“抽象”概念，如价格、棒球比赛得分、汇率浮动以及家庭关系等。虽然这些抽象概念对应于硬币、棒球棍、美元外债和人等具体的物理事物，但并不需要对这些物理事物进行描述：汇率炒家理应知道一张10美元钞票的样子而不需要系统为其显示一张钞票图片来支持他的交易。和科学可视化类似，地理可视化通常在一幅地图的基础上进行数据显示。例如，图1-13中分别显示了1881年和1998年英国人口中Spence姓氏的地理分布。和Minard、Snow以及Beck的例子一样，我们会在本书的后续章节中对该例中用到的编码方法进行具体讨论。科学可视化和地理可视化通常涉及空间内容，而信息可视化一般涉及工程和金融交易等抽象的非空间数据。当然，这三者之间还是存在着一定的交叉⊖。

⊖ 对地理信息化感兴趣的读者可参见MacEachren（2004）一书。

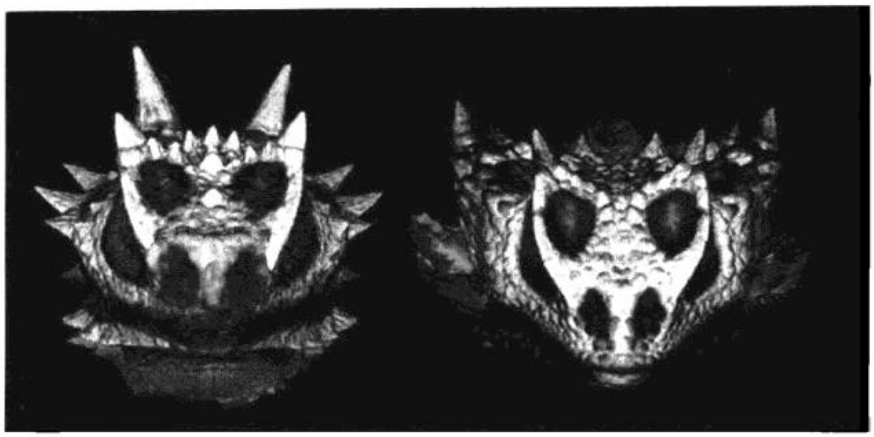


图1-12　X光扫描图像重建图。用不同的颜色显示美国得克萨斯州有角蜥蜴和墨西哥有角蜥蜴的外皮和骨骼之间的距离（图片感谢Wendy Hodges博士、Timothy Rowe博士以及Digimorph.org惠允）（见彩图）

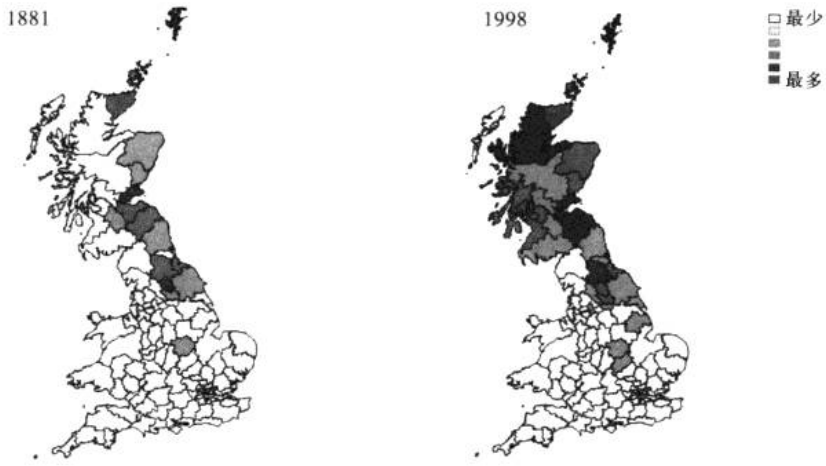


图1-13　1881年和1998年英国人口中Spence姓氏的地理分布（见彩图）

读者也许已经注意到了科学、地理和信息可视化之间界定的模糊。研究者正在致力于对这三者进行更精确的定义。和传统定义不同，Tory和Moller（2004）认为该定义应基于用户对信息的心理模型，这一观点和我们在信息可视化定义中对认知的强调一致。值得关注的是如何采用这些新的定义以增强交互式设计。

12
13

1.6　术语

本章主要介绍了信息可视化的定义、发展、用途以及用户在信息可视化过程中扮演的重要角色。虽然我们已经遇到了一些影响应用设计有效性的重要术语，但本章并未对它们做特别的解释。

这些重要术语包括*数据描述*（representation，数据编码方法，通常是视觉的）、*数据表示*（presentation，将已编码数据在一定的时间和空间内表示出来）和*交互*（interaction，用户为实现数据视图切换所采取的动作）。在第2章中，我们将以汽车购买这一具体任务为例来展示信息

14 可视化工具的设计过程并介绍以上三个基本概念。

习题

建议通过课堂讨论的形式来加深对以下习题的理解。

1.1 （复习题）可视化的定义是什么？它是由用户还是计算机执行的？

1.2 （复习题）计算机技术的进步在哪些方面增强了信息可视化的功效？

1.3 不要翻看前面的内容，根据记忆画出本章介绍的Minard、Nightingale、Snow以及Beck的可视化实例的草图（即给出对这些实例的心理模型）。

1.4 记录一天之中所碰到的数据的不同描述形式，如视觉、听觉或触觉等。然后分析每个例子中各类数据代表的是具体的值（如数值、顺序、类别等）还是关系。

1.5 探寻Minard、Nightingale、Snow以及Beck的可视化实例的其他数据描述形式，并用草图加以说明。

1.6 选定某样物理事物（如一辆汽车、自己或一栋房子），列出该事物能用视觉形式进行
15 描述的特性，并用草图加以描述。

基本概念

一本关于信息可视化的书应该介绍哪些基本概念？本章将通过一个具体的例子来展示信息可视化工具应具有的基本功能。我们选择了一个很具代表性的任务并对其进行了深入的讨论。虽然我们只选择了一个任务，但是它展示了大多数信息可视化应用所涉及的基本概念。本章中出现的重要概念均用黑体加以强调[⊖]。

2.1 任务

本章的中心**任务**（task）是选购一辆汽车，这是一个非常典型的例子：根据属性从多个对象中选出一个对象，或者从大量对象中选出一些备选对象进行进一步的审查。从一个数据集中**获取信息启示**（gaining insight）是一个重要的子任务，它是数据挖掘和决策支持的重要组成部分。虽然我们可以在数字信息空间（information space）内完成汽车选择任务，但是数字信息空间存在着物理世界中的对等物，如汽车展厅。

2.2 问题的本质

考虑到问题的实际性，我们应该意识到所选择的这个任务经常缺少精确的描述。常见的汽车选择标准有“外形美观”、“动感的”和“负担得起”等。此外，购买者可能意识到了一些标准，如颜色和时尚度等，但却很难用语言去描述。甚至存在一些消费者未意识到但可能影响最终选择的因素。毫无意外的，“*问题只有在被解决时才能得到完整的描述*”（Schon, 1983）这一现象时常发生。我们经常意识不到哪些东西是我们所不知道的。

2.3 数据

汽车数据通常用表格的形式**呈现**（presented）给消费者（见图2-1）：每行代表一辆汽车（普遍说来，代表某个**对象**（object）），每列表示该汽车的一个**属性**（attribute）。这些属性可能属于不同的数据类型：数值型（如价格）、类别型（如品牌）、顺序型（如评分）等。有的属性可能像推荐一样包含文字信息。

品牌	价格（£）	MPG	评分	车龄（yrs）
Ford	15 450	31	*****	3
Chevy	12 450	27	***	4

图2-1 记录了一组对象（行）的属性值（列）的表格

⊖ 只在本章中有效。后续章节中的黑体表示术语表中列举的术语在正文中第一次出现的位置。

2.4 表格表示

虽然我们对表格非常熟悉，但是当有多行或列数超过10时，表格的有用性是有限的。当消费者有非常精确的需求时（这种情况通常很少见），可以对表格进行人工扫描或利用某些搜索功能来定位符合条件的汽车。即使找到了一个精确匹配，购买者可能还想看看有没有其他的可能选择。即使没有精确匹配，逐行扫描的办法对消费者的心理模型也没有太大帮助。我们后面讨论到表格透镜（Table Lens）时将看到，允许按属性（如价格）对表格的行和列进行**交互式重排**（interactive rearrangement）是非常有用的。

2.5 条形图

所有汽车属性里消费者最关心的可能就是大致的价格范围了。除非表格里的所有汽车数据是按照价格升序或降序排列的（虽然在众多属性中将价格作为排序标准并不一定合理），否则很难从中确定价格范围。图2-2显示了对价格数据的条形图**描述**（representation）法。这种**半定性**（semi-qualitative）描述假设价格范围（而非具体数值，至少在初始时）能提供有效信息。每个条形的长度表示处于该价格段的汽车数量，从而展示了每个价格段内的汽车数量分布。即使只是对该条形图的迅速一瞥也能对所有汽车的价格范围和每个价格段的汽车数量分布形成一个有用的**心理模型**（mental model）。我们可以认为条形图能提供价格和数量分布的**总图**（overview）。

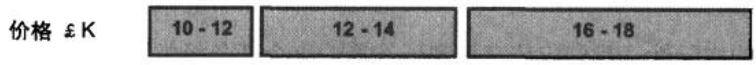


图2-2 该条形图表示了一组待售汽车的价格范围，每个条形的长度对应于该价格范围内的汽车数量

2.6 交互式对象选择

在研究价格总图前，消费者可能会偶然地在一组汽车图片（图2-3）中看到一辆特别有吸引力的汽车，然后就会很自然地查询这辆车的价格以及更多的**细节**（detail）信息。虽然价格可以直接标注在图片下方，但是在可能多于10个的属性中只标出价格不一定是合理的。一种解决办法是，用价格条形图上方的图标来表示该车在条形图中的位置。为了用同样的方式标示出所有汽车，可以在条形图上方创建一个如图2-4 所示的“对象向量”（object vector）。对象向量同样可以立即显示出每个价格段中的汽车数量分布。为了便于对比，对象向量中的图标通常按价格排序[⊖]。汽车图片（图2-3）和对应价格范围（图2-4）之间的**关系**（relation）可以通过它们之间的连线来表示。但是，一种更有效的方法是使用颜色编码：在图片上加上一个颜色边框（图2-5），然后使用相同的颜色来标注对应的图标。这样，图片和价格之间的关系就变得清晰且易于记忆，从而扩展了用户对这些汽车的心理模型。

⊖ 图标之间的相等距离无法表示出精确的价格差别。



图2-3 汽车的一个（难以量化的）属性，它的外观可能会完全吸引购买者的注意力

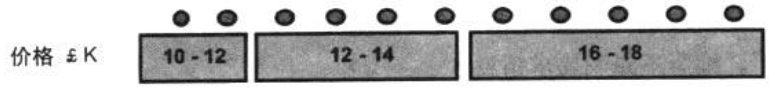


图2-4 条形图上方的图标表示对应的汽车

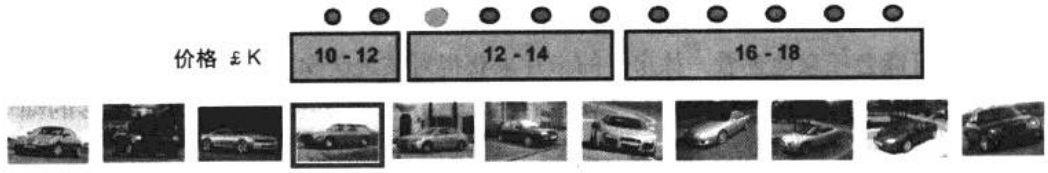


图2-5 通过图片选定一辆汽车，它的价格通过图片和条形图上对应图标的颜色编码得以体现（见彩图）

2.7 总图

本节将进一步讨论在2.5节中介绍过的**总图**（overview）的概念。虽然很难对总图进行精确的定义，但一般可以将其视为对数据的某一方面的量化认知，这一认知应能迅速或下意识地（即不需要耗费认知成本（cognitive effort）地）获得。例如，对可选汽车数量（“大概20辆”或“值得一看的”）或价格范围（“大概10～20万”）的估计。虽然总图不一定对应于整个数据集，但总图对应的数据越多，该描述方法就越有用。从总图中可以得到很多有用的信息，比如数据集的分布（“多数车都太贵了”）和突出特点（“这些车要么太贵，要么太便宜，没有中间价位的”）。还有一些信息可以用于识别需要过滤的部分数据以便更有效地完成任务（Cairns and Craft, 2005）。

18
19

2.8 多属性

价格并不总是购买汽车的唯一标准。如果考虑到每加仑公里数（MPG），可以在价格条形图上方再显示一个MPG条形图（见图2-6），并且也可以在新的条形图上加上一组对象向量。两个条形图上方的图标数量是一样的，但图标的顺序可能不一致。当鼠标点击或悬停在某一幅图片上时，两个条形图上方对应的图标都会呈现同样的颜色编码，这样就有效地将图片和两个属性**联系**（relating）起来了，用户也能得到更多的**细节**（detail）信息。

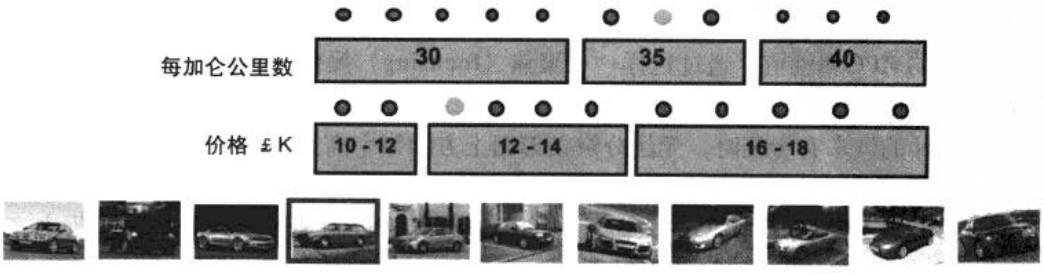


图2-6 对应图标的颜色编码显示了选中汽车在各个条形图中的位置（见彩图）

2.9 细节

和总图相比，**细节**（detail）一词对应于对象多个不同属性的聚合。细节的察觉需要耗费用户的认知成本。除非支持快速认知的数据编码设计完美，否则细节信息的察觉通常不会是一个快速过程。一辆汽车的可能细节是“12万，低MPG，强力推荐的，1990年生产的别克牌，比买Chevy划算”。细节不强制要求精度。

由于信息可视化的定义中显示其主要目的是为数据创建心理模型，因此总图不需要始终出现在细节认知之前（Shneiderman, 1996）。例如，消费者可能首先选择一辆汽车，通过查看价格、MPG、车龄、马力等细节来了解该类汽车的性能。又如一个购房者如果对所在国家或地区不熟悉，他可能会任意地查看一栋房子的卡片来获得对该地区房产的初步印象。该行为如同“平面”上的一“点”，可以作为构建心理模型的出发点，可能的后续操作是获取更多的细节或总图。

2.10 显著对象

对象间不同**关系**的显示有助于消费者的决策判断。消费者的心目中通常有一辆理想的汽车。虽然当前可能没有这辆车，但还是可以用同样的方式将这辆**理想汽车**（图2-7）描述出来。为了避免混淆，应该使用一个特别的图标以示区分。这样，所有可选汽车和理想汽车之间的**关系**就可以得到视觉呈现。可选汽车图标和理想汽车图标之间的距离代表了它们和理想汽车之间的差异。同样的，一辆汽车可以成为“备选项”并得到某种形式的**标注**（图2-8），从而减低存储该信息的需求。

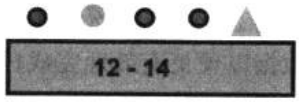


图2-7 条形图上的图标可以表示一辆理想（但可能不存在）的汽车。该图标可作为参考标准（见彩图）

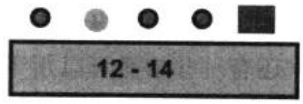


图2-8 可以对列入考虑范围的汽车加以“标注”，以供进一步考察（见彩图）

2.11 交互式属性选择

相对于通过识别图片来获取汽车细节，消费者可能更倾向于在价格条形图上选择一个合适的范围来进行价格筛选（图2-9）。当用户选择了一个价格范围后，该范围内的图标会得到高显，对应的图片也会加上一个同色边框。不需要进一步的交互，对应的MPG条形图上的图标就能显示这些汽车的MPG属性值。通过这样一个**聚焦**（focusing）操作，消费者可以实现“在这个可接受的价格范围内进行进一步考察”的活动。

当符合条件的汽车有多辆时，无法分辨条形图上方的每个高显图标所对应的高显图片，我们可以使用一种简单而有效的技术“**扫光**”（brushing）来解决这个问题。当鼠标悬停在某幅图片上时，该汽车在价格和MPG对象向量上的对应图标将得到某种形式的高显，反之亦然。对MPG范围的**交互式选择**（interactive selection，图2-10）将显示同时满足价格和MPG两个属性条件的汽车。在浏览数据的过程中，用户可以随时设定或取消筛选范围，只有满足所有属性

条件的汽车才会得到高显。系统对用户操作的实时反应可以增强用户的心理模型，帮助用户进行问题的重定义。

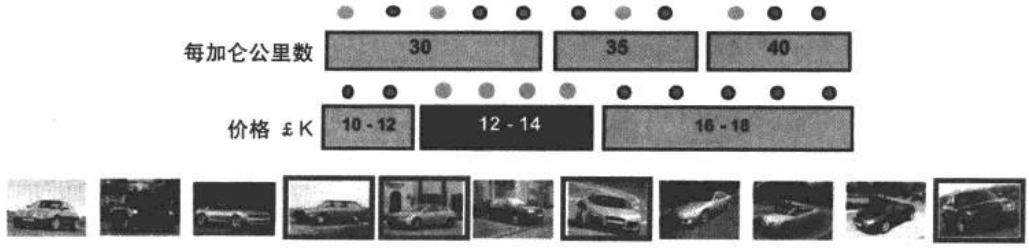


图2-9 对条形图范围的动态选择（本例中设价格范围为12～14万）显示有4辆符合条件的汽车（见彩图）

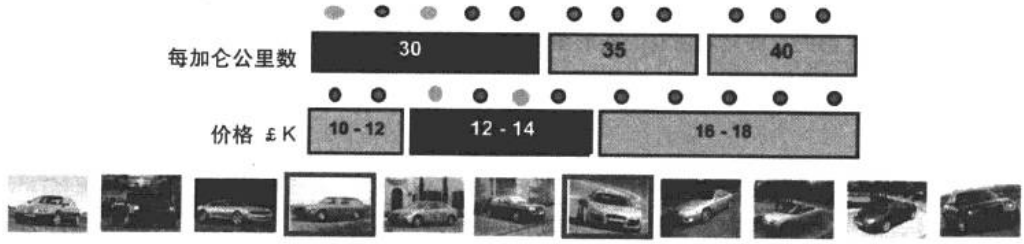


图2-10 交互式地选择了MPG范围后，只有同时满足价格和MPG条件的汽车才会得到高显（见彩图）

2.12 空间局限性

在消费者做出最终决定前，可能会对10个以上的属性进行考察。遗憾的是，这些条形图和对应图片不能同时显示在有限的显示器屏幕上。虽然传统的翻页功能（图2-11）是一种可能的解决办法，但它最大的缺点在于不能同时查看某辆汽车的所有属性。另一种多属性表示方法是减少大多数条形图的高度，抑制范围标签，同时保持条形图上方的图标和对应颜色编码不变（图2-12）。如果用户主要关注其中两个属性，例如价格和MPG，则其他条形图的显著变化将变得很醒目。如果用户需要查看其他非焦点属性，可以通过滚动方式展示它们的全视图。

21
~
22

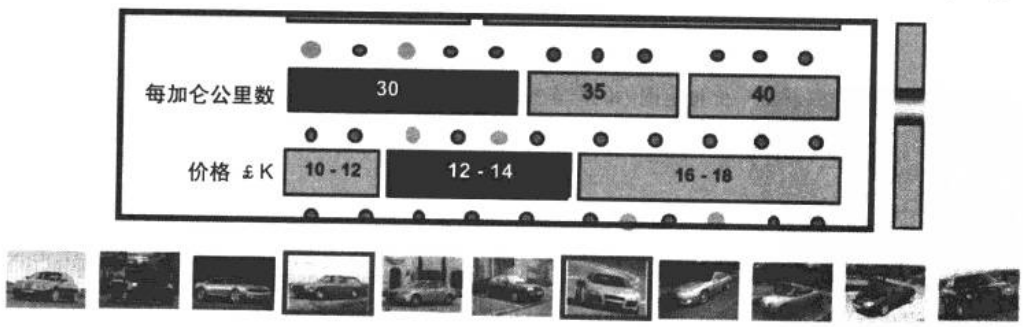


图2-11 当没有足够的空间显示所有的条形图时，可以在视窗中滚动查看这些属性（见彩图）

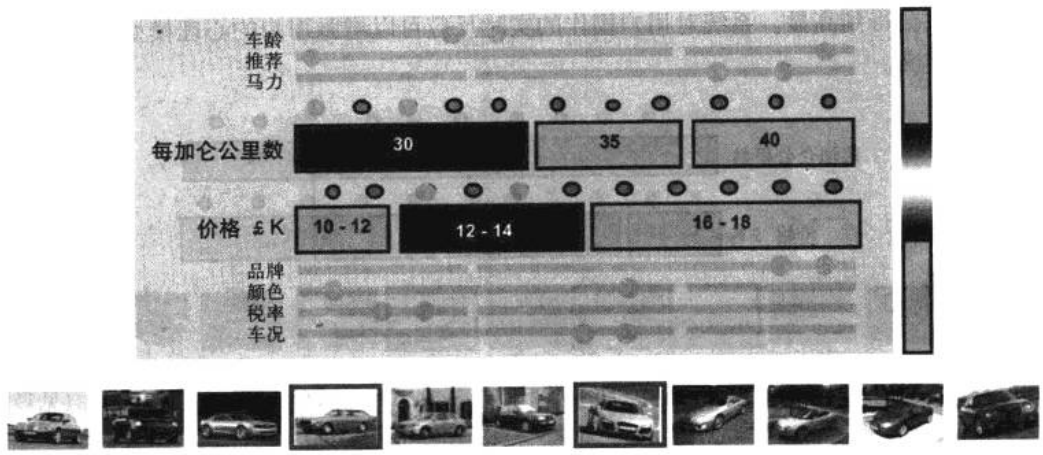


图2-12 当没有足够的空间显示所有的条形图时，可以通过压缩非焦点条形图高度的方法来一次性地显示更多的条形图。通过滚动功能来决定当前完全展开的条形图（见彩图）

2.13 过滤

对于消费者而言，过滤是一个很实用的功能。例如，如果消费者只对价格在16～18万元的汽车感兴趣，可以通过某些交互技术保证条形图中只**呈现**符合该价格条件的汽车（图2-13）。这种**过滤功能**的一大优势在于数据**抑制**（suppression），它可以将用户的注意力集中在某个数据子集上，从而减少可能的认知成本。从图2-13中可以看到，过滤技术的不足在于上下文信息的丢失。

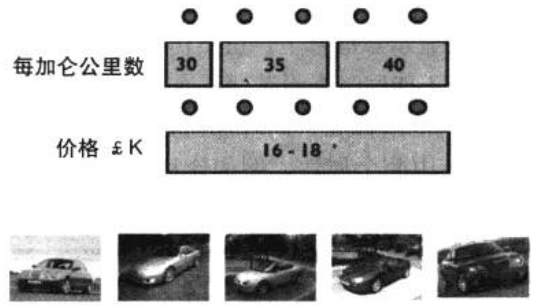


图2-13 如果用户只对某一价格范围内的汽车感兴趣，可以压缩掉其他不相关的数据（见彩图）

2.14 小结

我们讨论以上这个汽车购买系统的目的在于介绍理解和研究信息可视化所必须掌握的重要概念。到目前为止，我们已经讨论了两个概念：**数据描述**（representation：数据的视觉或声觉编码）和**数据表示**（presentation：在有限的时间和空间内对已编码数据进行选择和布局）。我们将在第3章和第4章对这两个概念进行详细介绍。第三类需要讨论的技术是**交互**（interaction）。它是最近15～20年间信息可视化的重要性得到迅速肯定的主要原因。我们可以提出一个想法或问题，然后通过即时反应的交互得到反馈，从而增强对数据的理解。交互允许用户选择数据的不同视图，由于我们经常在取得“Ah HA!!”的信息启示前频繁切换于不同的视图间，因此

必须确定在不同的视图间的“定位”方式（Woods and Watts, 1997）。

2.15 定位帮助

当用户设置了一定的属性范围对数据进行筛选时，通常会有这样一个想法：“如果再增加1000美元预算会怎样？”为了回答这类“如果……怎样”的问题，可以选择下一个高价位范围然后观察相应的变化。但是为了回答“如果保持价格范围不变，降低MPG值，又会怎样?”的新问题，就必须重复以上操作。事实上回答这类“如果……怎样”的问题的更有效的方法是对图表向量做一个简单的修改。“边界图标”（图2-14）是指不符合用户设定的属性范围的图标，但如果选中该图标下方的条形，该图标会立即满足所有限制条件。换句话说，边界图标下方未被选中的属性范围是该汽车唯一不满足的限制条件。这种编码方式可以提供**敏感度信息**（sensitivity information），它可以帮助用户发现以前没有考虑过的可能性，对用户在信息空间内的**浏览**（exploration）非常有用。EZChooser（Wittenburg *et al.*, 2001）是一个使用了敏感度信息的信息可视化工具（见图2-15），它是本章中大多数例子的灵感来源。



图2-14 条形图上方的“边界”图标表示该属性范围是该边界汽车唯一不满足的条件。如果该属性范围被选中，这个图标也会相应地发生改变以标志它符合所有设定的属性范围

24

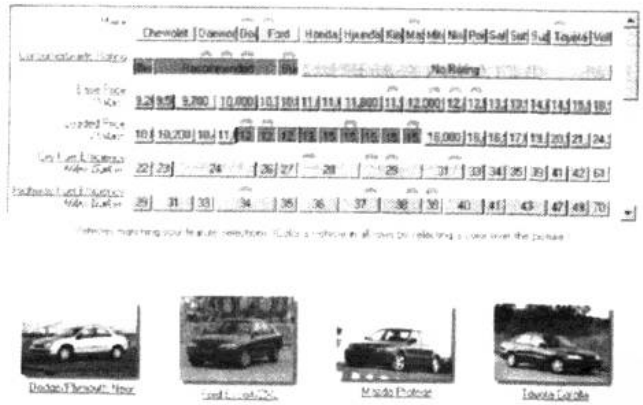


图2-15 EZChooser视图，敏感信息通过边界汽车图标加以体现。图片来源：感谢Kent Wittenburg惠允

2.16 在信息空间中的移动

现代信息可视化工具和Minard、Snow及Nightingale等传统作品最大的不同之处在于**交互**（interaction），即允许用户进行数据**视图切换**。以汽车购买为例，前面图中记录下的用户活动序列显示，购买者通过交互查看汽车数据的不同视图序列。整个过程是渐进式的：用户首先要了解汽车数据（如建立一个心理模型），然后逐步形成最后的决定。在这个过程中，用户的心理模型可能发生显著的变化：对信息启示进行初步收集，并对心理模型进行增删操作。视图间

的切换可以看做是整个汽车数据**信息空间**内的**活动**（movement）。

一对夫妇决定晚上的娱乐项目可以看做是活动的另一个不同的实例（图2-16）。他们利用一个简单的菜单系统在预设框架内进行顺序查找。这和汽车购买很不一样，汽车消费者可以自由查看多个不同视图，并且和系统有着很多不同的交互方式。但这两个例子中由交互控制的基本活动都是通过**信息空间**内的移动对数据的不同视图进行查看。

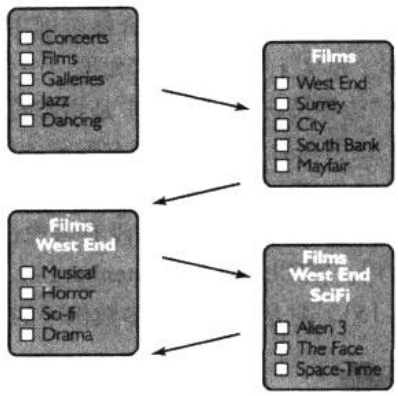


图2-16 利用菜单系统来决定娱乐活动，这一任务由离散信息空间中的一系列移动组成

信息空间内的交互式移动也叫**定位**（navigation）。虽然决定晚上的娱乐项目只涉及信息空间内的少数几个移动，但是其他类似于汽车购买的常见任务可能涉及100个或更多的活动。特别当活动涉及很多步骤时，交互设计师应重点考虑如何提供定位**线索**（cues）。图2-14和图2-15已经展示了边界图标的例子。图2-16中每幅图片上方的标题也是一个实例：它们展示了用户的浏览记录，使用户能方便地回退到已访问的页面。

考虑到**交互**的重要性，我们在第3章**数据描述**和第4章**数据表示**之后加入了第5章**交互**，这三个概念组成了本书的核心内容，同时也是数据和寻找启示的用户之间的桥梁（图2-17）。在深入讨论各章之前，我们再次重申信息可视化是对数据建立心理模型的过程。因此我们首先需要了解这些和信息可视化直接相关的人类行为。

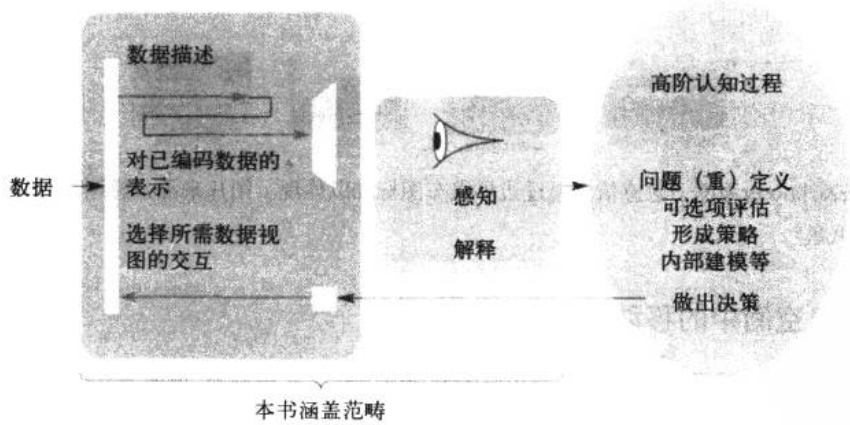


图2-17 本书强调交互受控于高阶认知过程

2.17 感知与解释

在汽车购买一例中我们讨论了可视化活动中的人类行为。**感知**（perception）与**解释**（interpretation）是其中最本质的两种行为（图2-17）。视觉感知，即观看数据描述，发生在对描述（无论它是条形图上方的高显图标还是旁边的拖动栏）进行解释之前。根据当前的普遍理解，在信息可视化范围内对这些人类行为进行研究是可能的而且是有用的。本书没有编写单独的章节来介绍这些概念，而是把相应的内容放在各章节的适当位置来介绍。对该课题的深入研究可以参考Colin Ware所著的《Information Visualization: Perception for Design》（信息可视化：设计感知）一书。

感知与解释不是唯一和信息可视化相关的人类行为，还存在更多的属于**“高阶认知过程”**（higher-order cognitive processes）的行为（图2-17）。这一认知过程得益于信息可视化技术。例如，在信息空间内所采取的下一步骤取决于用户当前的内部模型、对问题的当前描述、为增强模型所采取的策略以及对已实施行动所采用的评价指标。所有这些行为毫无疑问都受储存在用户长期记忆中的历史经验的影响。虽然这些行为对交互设计师非常重要，但对它们的研究不如对感知与解释的研究深入，我们在本书中也不做深度探讨。

2.18 总结

本章通过一个具体例子介绍了信息可视化的基本活动如过滤、聚焦等，以及细节和总图的获取。我们也看到了这些活动的有效性是如何受数据（包括数值和关系）的描述和表示方式的影响，同时也体会到了交互所带来的益处。接下来，第3章至第5章将分别讨论信息可视化的三个最重要的技术：数据描述、数据表示以及交互。 27

习题

建议通过课堂讨论的形式来加深对以下习题的理解。

2.1 （复习题）列出条形图描述法的优缺点。

2.2 （复习题）解释EZChooser中出现在条形图上方的边界图标的作用。

2.3 （复习题）比较过滤和聚焦的优缺点。

2.4 （复习题）一辆汽车的属性有价格、外观、品牌、推荐值、马力、生产年份及车龄。请分别指出其中属于数值型、顺序型或类别型的属性。

2.5 根据你购买多属性对象（如移动电话、洗衣机、自行车或汽车）的经验，陈述你对“总图”和“细节”的理解并举出具体实例。

2.6 对于习题2.4中提到的属性，哪些可以用于对条形图上方的对象做排序？ 28

第3章
Information Visualization: Design for Interaction, 2E

数据描述

我们在前面章节中的讨论以及在第1章中介绍过的例子都显示了信息可视化的强大效力在很大程度上取决于它对通常以数字形式表现的原始数据的接受能力和以方便用户提取信息为目标的数据描述能力。我们在这里重申Simon（1996）的精简评述：

……解决一个问题就意味着对它进行描述从而使解决方案变得清晰。

我们对“描述”的定义和字典定义一致：

描述（动词）：描写，描绘。

我们已经看过了各种对数据进行视觉化描述（也可以叫做编码）的方法。Minard使用了颜色和不同粗细的线条，John Snow使用了点和叉，Florence Nightingale使用了“玫瑰花瓣”，Harry Beck利用颜色对地铁线路进行了区分。还有很多对数据进行视觉化和听觉化描述的例子，我们在这里无法一一枚举。在详细探讨各种技术前，我们有必要了解数据描述的三个重要特性：数据的类型、数据的复杂度以及用户对已编码数据的解释方式。

数据类型

数据描述的特性之一是处理数据的两个或多个数据项之间的关系（或结构）。图3-1所示的汽车购买系统使用颜色来突出汽车的价格和外观之间的关系。第1章中介绍的“地下伦敦”的例子使用有色线条来描述站台之间的连接。**扫光**（brushing）等交互技术有助于对关系进行编码（Becker and Cleveland, 1987）：在图3-2中，鼠标悬停在某个医生上可以清楚地看到该医生负责的床位，反之亦然。

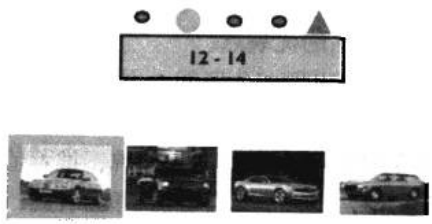


图3-1 第2章中讨论的汽车购买系统的部分界面：紫色代表某种关系（见彩图）

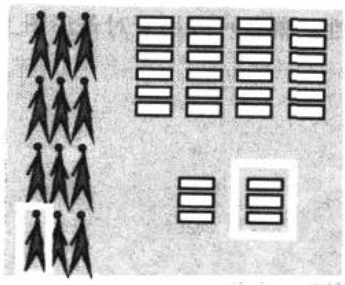


图3-2 扫光示例：对医生的交互可以显示该医生负责的床位，反之亦然

我们也看到了对数值进行描述的需求。有时用户追求的是精度，比如他想知道一辆汽车的价格是16 995英镑。但很多情况下用户感兴趣的是**推导数值**（Tweedie, 1997），例如平均值或一个数据范围。除了精确回答例如“价格是多少”这样的问题外，我们还必须能够回答像推荐度这样的定性询问。

本章将分别对数值和结构这两类数据做详细讨论。

数据复杂度

基于一两个属性进行汽车选购是简单而直接的。如图3-3所示，在价格和每加仑英里数组成的二维空间中，可以使用散点图（scatter plot）来表示每辆车在该空间内的位置。在实际应用中，买家可能对多达10个以上的汽车属性感兴趣，这意味着可视化工具必须要能够对40辆汽车（每辆汽车具有多于10个属性）进行编码。问题的关键在于维数或属性数目，而非汽车数量。因此在我们的讨论中，我们将首先接触单变量数据（univariate data，只涉及一个属性）、双变量数据（bivariate data，二维）以及三变量数据（trivariate data），最后讨论最具挑战性的超变量数据（hypervariate data，通常也叫多维数据）描述[⊖]。

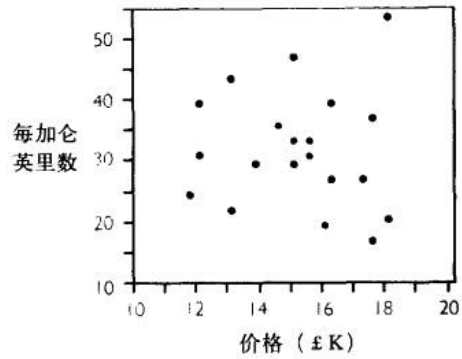


图3-3 每个点显示一辆汽车，对应其价格和每加仑英里数

感知和认知

我们在这里没有考虑用户对数据描述的理解。我们在第2章中提到过，当用户行为和所讨论的技术相关时，我们会对其进行介绍。虽然我们只做简要讨论（用仿宋体标识），但是希望可以帮助大家认识到用户行为习惯对交互设计的影响。另外，我们将讨论特定技术的评价方法，不会只单纯地列出一些有用技术而不解释为什么应该重视它们。

3.1 数值编码

3.1.1 单变量数据

1. 一个单独的数值

要引起用户对一个单独数值的关注是很难的，这也许是令人难以置信的。一个典型的例子是老式的飞行高度计（见图3-4）。该装置的作用是提醒飞行员飞机距离海平面的高度。然而，不恰当的高度描述方式直接导致了一些空难的发生。

30
~
31

⊖ 该术语和教学方法来源于Cleveland（1993）。



图3-4 导致了许多事故的飞行高度计的原始设计

高度计表盘上的三个指针由细到粗分别表示万英尺、千英尺和百英尺单位。这种常见的指针描述方式使用户可以很快速地从图3-4中读出当前高度为13 460英尺。但是，当飞行员的目光从高度计上移开去读取另一个表盘数据、观察窗外情况或和副驾驶员交谈时，问题就出现了：当驾驶员的目光再次回到高度计时，很可能会忽略高度的微小变化。例如，图3-5和图3-6中显示的是不同的高度，但由于差异微小，所以第一眼看起来可能是一样的。然而它们之间的高度差有1万英尺之多。这就是我们在第1章中介绍过的变化盲视（Rensink, 2002），这种现象和信息可视化是息息相关的。例如，如果我们期望用户能通过视觉方式注意到一些交互的发生，就必须保证这些变化能被用户所注意到。又如，图3-7和图3-8是不一样的，但读者第一眼可能看不出差别。

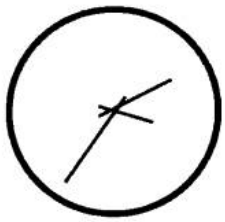


图3-5 高度描述

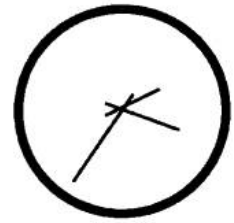


图3-6 很可能被误读为和图3-5中一样高度的视图



图3-7 不同于图3-8的一幅图片（图片感谢Ron Rensink惠允）



图3-8 不同于图3-7的一幅图片（图片感谢Ron Rensink惠允）

根据用户也就是飞行员的使用习惯，现代的飞机高度计做了如下改进（如图3-9所示）：由于飞行员需要对潜在危险做出迅速判断，因此现代飞机高度仪将高度分为两个部分，分别用绿色和紫色标明。飞机的当前高度用一个黑色的指针表示（前一个数字表示百英尺量级上的高度，后一个数字表示十英尺和英尺量级上的高度）。因此，只需快速地扫一眼（最多200毫秒）就能确定飞机当前处于安全飞行高度。如果需要细节信息，可以从黑色指针的位置读出当前高度位于1600和2000英尺之间。如还需要更多的细节（例如降落时），可以从黑色指针内读出精确的当前高度。另外，十英尺和英尺量级上的高度表示为黑色指针内的后两个数字（而非两个单独的指示器）。它可以帮助飞行员判断飞机是在上升还是下降。需要再次指出的是，可视化技术的使用必须和应用环境相结合。例如，由于飞行员更关心百英尺量级上的变化，因此黑色指针内前一个数字比后两个数字大。对各个量级的高度值使用相同大小的显示会降低高度计的价值，这只能说明设计者没有真正理解应用环境。

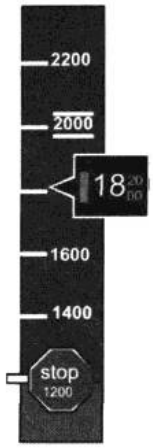


图3-9 现代飞行高度计（见彩图）

32
~
33

单独数值表示的重要性还可以体现在外科手术特别是持续时间长达数小时的手术中。麻醉师（以及病人）需要随时了解血压等重要的人体生理信号的变化，这类信号的任何变化都必须马上被捕捉到。图3-10所示的系统为麻醉师提供了丰富的视觉信息，但在长达数小时的过程中对这些数据做监测需要耗费大量精力。最简单的解决方法是对重要信号做声觉编码（Watson *et al.*, 1999; Watson and Sanderson, 2004）：无论麻醉师当前在做什么（例如接听病房打来的病情询问电话），他都能通过音调变化或一串连续的“嘟嘟”声意识到生理信号的变化。通过这个例子，我们想指出可视化涉及的“视觉”一词不应被错误地理解和局限为视觉，信号也可以通过视觉以外的其他方式进行编码。

2. 一组数值

单独数值（例如高度计）的显示是很重要的，但是在更多的实际应用中需要处理一组单变量数据对象。虽然已有很成熟的技术（Cleveland, 1994; Tufte, 1983），但是在信息可视化领域还是不断有新技术涌现。

图3-11中多辆汽车的价格显示为线性刻度上的一组点。但是这个描述有多有效呢？该描述显示了汽车价格的总分布图；通过仔细查看可以比较精确地推测出平均价格从而判断是否负担得起；更仔细地查看可以读出最高和最低价格。因此任何数据描述都应回答同样一个问题：

“如何使用这个描述？”汽车购买者很多初始的问题可以通过箱形图（Tukey Box Plot）找到答案（见图3-12）。箱子中间的线条表示中值（将所有数值一分为二），箱子的两端分别表示25%（即25%的数据小于这个标志值）和75%标志位。类似地，5%和95%标志位分别表示为箱子两端的两条平行线，奇异值表示为点。大多数的数值通过这种方式得到了聚合。很多类似的应用常常不需要精确细节，而我们描述的是导出数值。

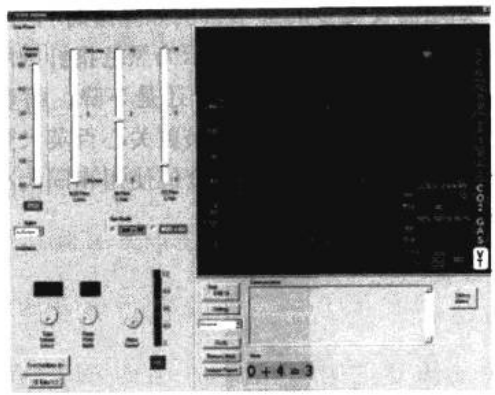


图3-10 手术过程中对病人重要生理信号的描述。在长时间手术过程中对大量数据进行监测的困难性导致声学编码的引入：用一组重复的“嘟嘟”声表示信号的变化。无论麻醉师是否注视显示屏幕，都能通过声音立即意识到信号的变化（图片感谢Marcus Watson惠允）（见彩图）

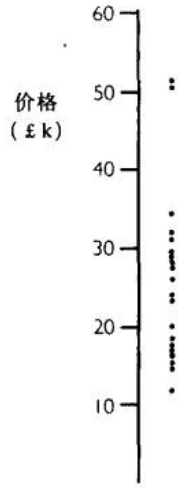


图3-11 每个点表示一辆汽车的价格

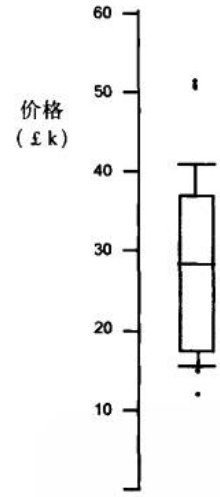


图3-12 用箱形图来表示和图3-11相同的一组数据

直方图是单变量数据的另一个常见的描述法（见图3-13）。目前，已有很多研究致力于条形大小的选择，我们在这里不进行详述。需要指出的是，同Tukey箱形图类似，直方图描述的也是聚合属性（即导出数值），它既支持对总图的快速获取，也能提供精确的信息。直方图是强调数值型数据导出数值的众多技术中的一种。例如，将每个数值范围内的条形整合起来可以得到第2章中介绍过的条形图（见图3-14）：每个条形代表的对象数量对应于条形的宽度，虽然数据的一些特点（如奇异值的存在）或某个数值段的空缺在条形图中不能轻易地被一眼看出，但在某些应用中这些缺失是可以容忍的。

这里的数据不一定是数值型的，也可以是类别型或顺序型的。汽车品牌如福特、尼桑、丰田、法拉利等单变量类别型数据可以在在线汽车销售系统如EZChooser（Wittenburg *et al.*, 2001）中表示为条形图（见图3-15）。图3-16是顺序型数据在一个商店周销售量描述中的应用。 34 ~ 35

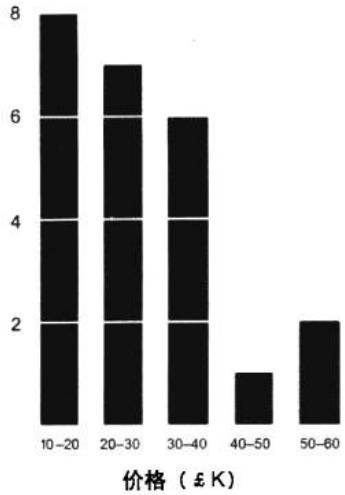


图3-13 单变量数据的直方图描述



图3-14 通过将直方图中各个条形整合并横向放置，忽略所有空缺数值段，可以得到单变量数据的条形图描述



图3-15 单变量类别型数据的条形图描述

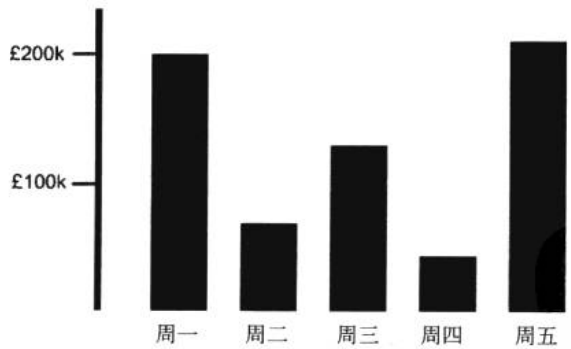


图3-16 单变量顺序型数据的直方图描述

3.1.2 双变量数据

散点图是双变量数据的传统描述法。以购买住房为例，假设每栋住房都有价格和房间数两个属性，则散点图的横、纵坐标分别表示这两个属性，每栋住房表示为这个二维空间中的一个点（见图3-17）。散点图描述了数据的基本走向（例如，价格越高则房间数越多），有助于用户的决策权衡（例如想以较低价格购买一栋房间数较多的住房），也有利于发现意外收获（例如 36

发现一栋价值11万英镑的有5个房间的住房）。而任何一个传统的需要输入精确查询条件的查询系统都不能鼓励这样的意外收获，这也是信息可视化得到广泛应用的原因之一。

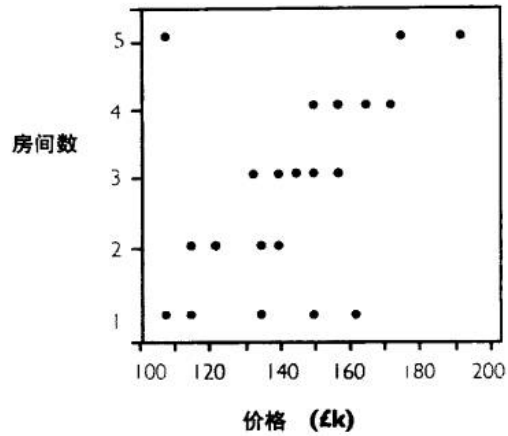
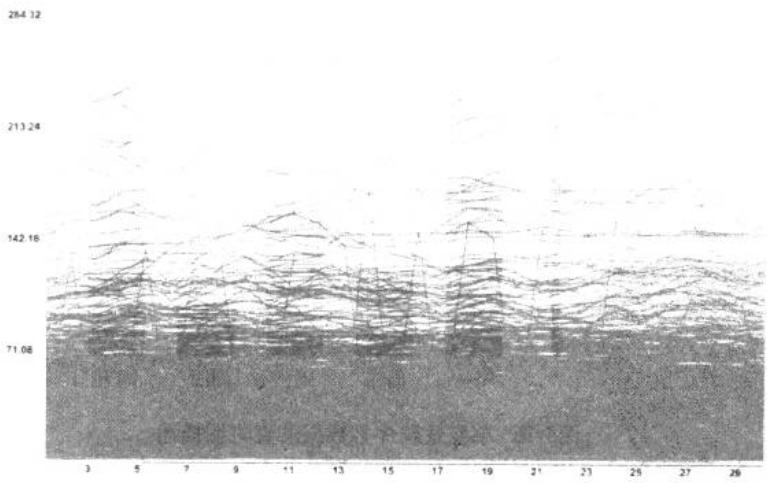


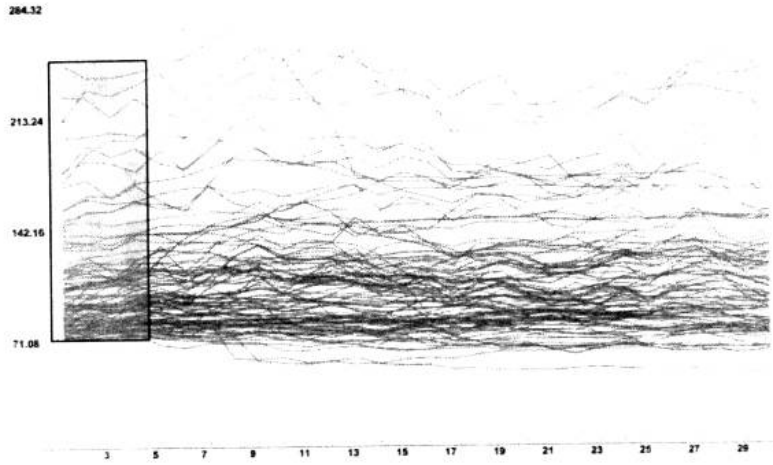
图3-17　双变量数据的散点图。每个点表示一栋住房的价格和房间数

时间序列是散点图的一个特例：通常一个坐标表示时间，另一个坐标表示和时间相关的函数。在医学和气象研究等领域中已有许多数据描述技术和可视化工具，它们可以帮助用户从一系列与时间相关的数据中提取出有用信息。图3-18描述了一个与时间相关的数据集，它显示了1430支股票在52周内的价格波动（Hochheiser and Shneiderman, 2004）。图3-18a显示了整个数据集的总图，体现了该数据集的密度和分布。图3-18b中的时间盒凸显了在第1天到第4天之间价格在70～250美元的股票。图3-18c中加入了一些约束条件，选中了在第7天到第12天之间价格在70～95美元的股票，图3-18d选中了在第15天到第18天之间价格在90～115美元的股票。

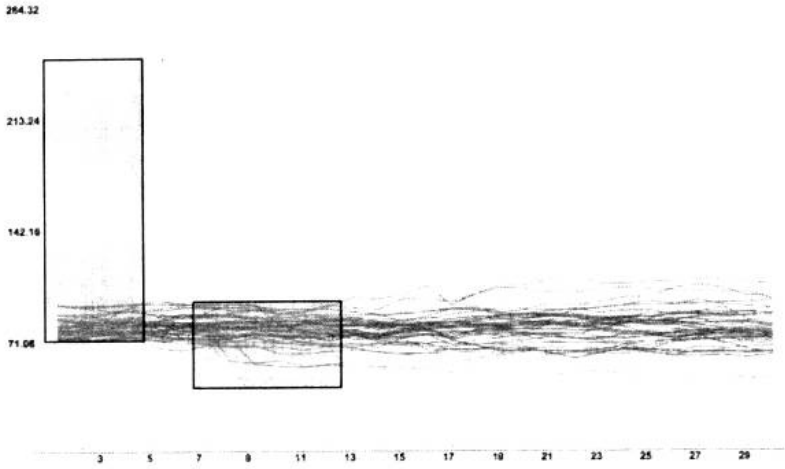


a)

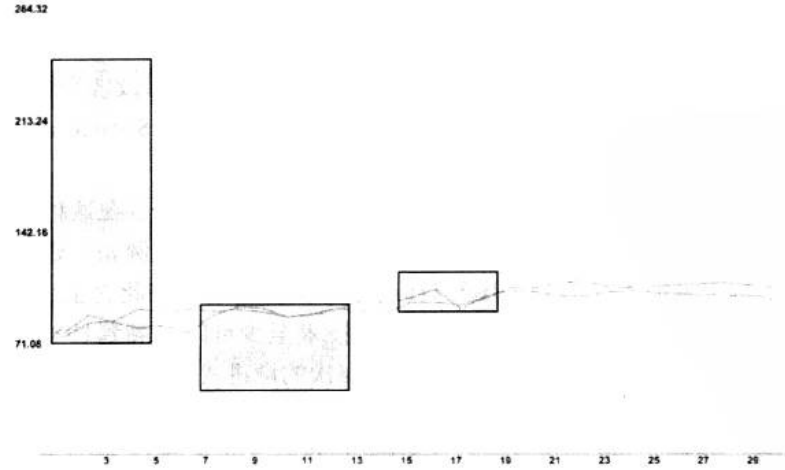
图3-18　一个基于时间的查询工具的4个视图。a）整个数据集的总图；b）时间盒凸显了在第1天到第4天之间价格在70～250美元的股票；c）加入一个价格约束条件，选中在第7天到第12天之间价格在70～95美元的股票；d）另一个价格约束条件选中在第15天到第18天之间价格在90～115美元的股票


284.32
213.24
142.16
71.08
3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29

b)


284.32
213.24
142.16
71.08
3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29

c)


284.32
213.24
142.16
71.08
3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29

d)

图3-18 （续）

图3-19是时间序列的另一种描述方式，有助于从数据中提取简单的整体印象。它显示了10年来洛杉矶上空的臭氧浓度，每个小方块代表一天，颜色表示臭氧浓度。从图中可以看到，夏季的臭氧浓度普遍比冬季高，但总体来看有逐年降低的趋势。

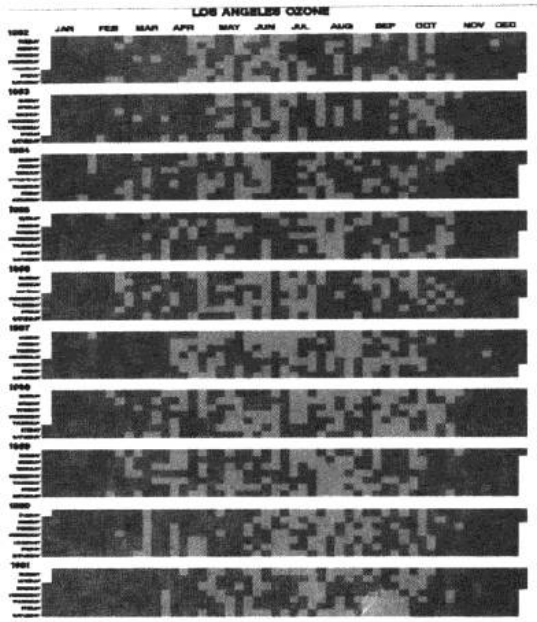


图3-19 10年来洛杉矶上空的臭氧浓度（见彩图）

将双变量数据的两个属性做完全分隔将带来意想不到的好处。例如，图3-20a将两个属性分别表示为一个单独的直方图。每栋住房在每个直方图中出现一次，如图3-20b中的高显所示。但如果直方图是静态的，则没有机会查看两个属性间的关系，也就没有必要使用两个单独的直方图。如果允许利用交互来设置某个属性的限定范围（见图3-20c），则符合条件的住房可以在两个直方图中同时得到高显，从而清晰地展示两个属性间的关系。这里我们再一次看到了强大的扫光技术，它的价值很难不被夸大。特别是当选中对象被重排到直方图底部时（如图3-20d所示），如果能将选中的某属性范围在整个属性范围内来回移动，并观察选中住房在第二个属性范围内的变化，则扫光技术将带来额外的好处。如果可以独立修改各个属性范围的上下限，则将形成一个灵活的探索式的可视化工具（Tweedie *et al.*, 1994; Spence and Tweedie, 1998; Albinsson *et al.*, 2003）。

实际应用中一个属性可能比另一个属性更重要或必须首先查看。在这种情况下就需要用到“逻辑”缩放（logical zoom）或“语义”缩放（semantic zoom）。例如，如果价格是最受关注的因素，则汽车购买者应首先看到如图3-21a所示的数据描述。在此之上添加语义缩放功能，显示部分感兴趣汽车的品牌（见图3-21b）。这种技术至少可以追溯到1980年（Herot, 1980; Herot *et al.*, 1981），它可以包含多个属性以及多层次的渐进式缩放。我们将在第4章中详细讨论该技术。

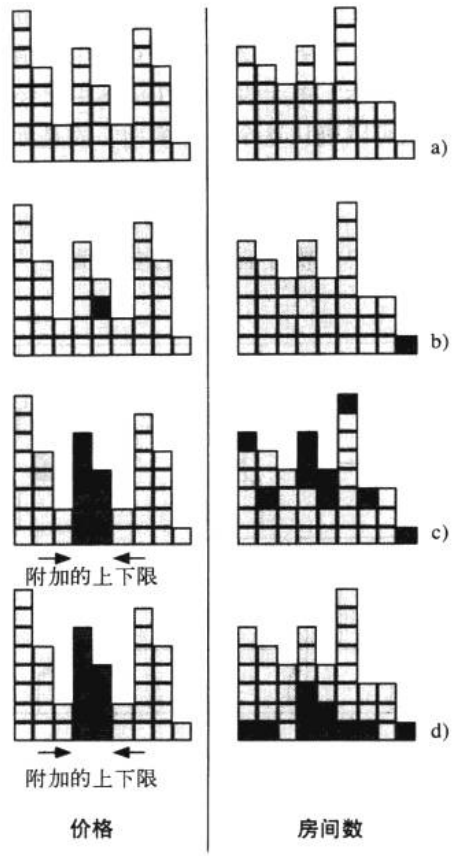


图3-20 关联直方图。a）每栋住房的价格和房间数分别显示在两个单独的直方图中；b）每栋住房在各个直方图中只出现一次；c）价格属性范围的上下限定义了一个数据子集，其在两个直方图中均高显为黑色；d）符合选定属性范围的住房在直方图中位置的自动调整可以增强用户理解。这种方法在属性范围有动态变化的情况下将非常有用

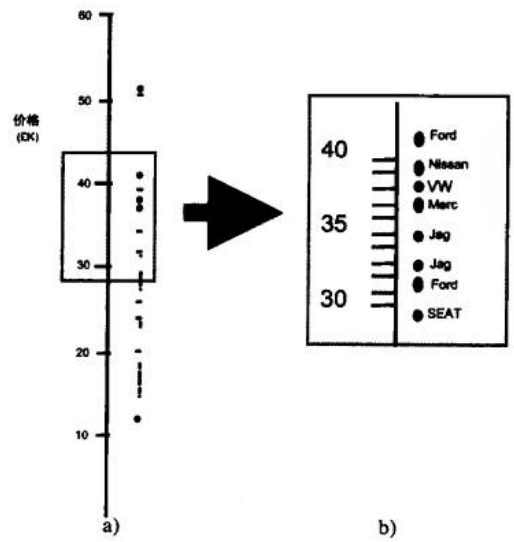


图3-21 语义缩放显示了选中对象的第二个属性

图3-22所示的数据描述反映了对数据定性理解的需求。在电路设计工业中，设计师经常需要对所设计电路的特定性质进行查看，例如电路中每一点的电压值。在图3-22中这些电压值反映为黑色方块的大小。为什么这样表示？由于设计者在头脑中已经对该电路的期待电压值有了一个心理模型，因此此种描述方法可以确认这个心理模型，或是如图3-22所示的情况，清楚地表明某些元件的电压值有误（右上角的两个部件的电压方块大小不一）。在这个例子中，两个黑色方块的大小差异“醒目”，因此用户可以得出有用的发现。如果用数值表示电压值，用户可能就不太容易发现这个错误。当用户需要查看具体的电压值时，可以通过鼠标点击或鼠标悬停将黑色方块替换为数值。

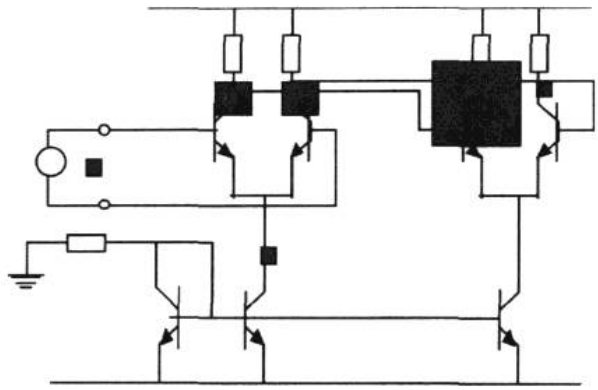


图3-22 每个黑色方块的大小代表电路中相应点的电压值

放大编码是帮助定性理解的另一种技术。大家对地图上的澳大利亚和新西兰都有心理模型（图3-23），但是在表示自行车拥有量的图3-24中，新西兰的面积是澳大利亚的10倍，由此可以推断新西兰的自行车拥有量是澳大利亚的10倍（假设这是真的）。这样的放大编码有助于发现有用信息。图3-25是一幅世界人口密度地图（Smith, 1999）：虽然加拿大和澳大利亚面积宽广，但由于人口稀少，因此在图3-25中被一条细小的线条所替代。

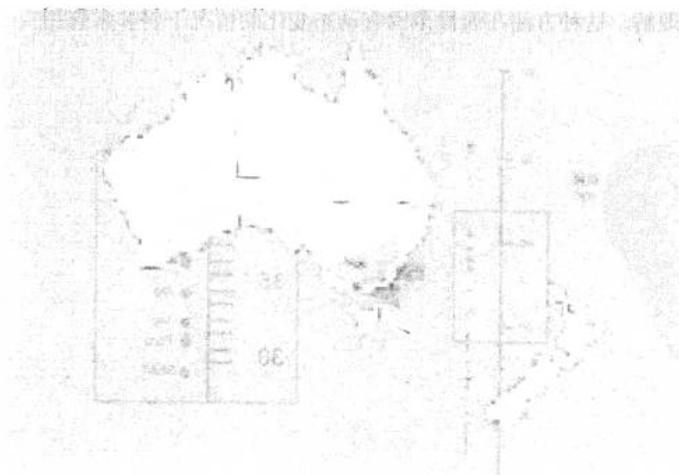


图3-23 传统地图上的澳大利亚和新西兰



图3-24 新描述中澳大利亚和新西兰的大小说明新西兰的某些属性是澳大利亚的10倍

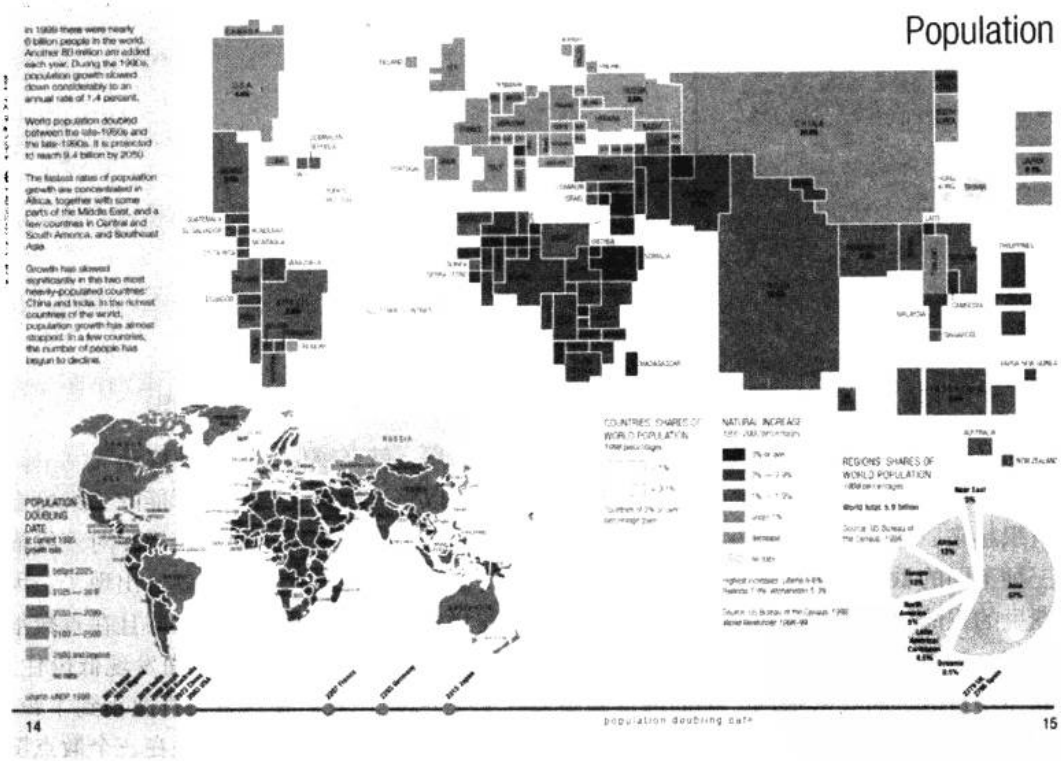


图3-25 世界人口密度图。放大编码的引入为读者提供了世界人口密度的总体印象。当和传统地图比较时，请注意加拿大和澳大利亚缩小了的尺寸（来源：Smith，1999）

3.1.3 三变量数据

由于我们生活在一个三维的空间内，因此我们很自然地会想用三维空间内的点来描述对象的三个属性，然后用一个二维视图对其进行查看（见图3-26）。但是问题随之而来：例如，我们无法从图中得知住房A的价格是否比住房C高。

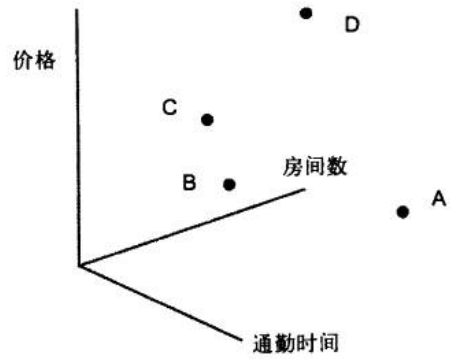


图3-26 在三维描述中无法对价格、房间数和通勤时间等属性进行比较

1. 散点图矩阵

一种解决方法是引入交互，允许用户对三维描述做重排。例如，在如图3-27所示的重排图中可以很清晰地看到住房A比住房C便宜。

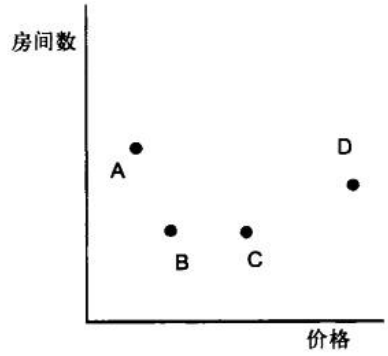


图3-27 对图3-26中的数据做投影以方便对价格和房间数进行比较（见彩图）

这刚好印证了那句有名的评论“要想使三维描述有用，就必须保证它能被移动”。

对于三变量数据以及后面将讨论的超变量数据，可以将三维描述的三个可能的二维投影系统地组织起来，形成一个如图3-28所示的散点图矩阵：从本质上来讲，相当于用户对三维描述做了三种不同的重排。虽然现在可以对两栋住房进行比较了，但是另一个问题又出现了。现在各个图里的点的总数是实际住房数量的三倍，这间接增加了用户的认知成本，并且在点数很多的情况下，没有足够的空间来显示标签。交互可以允许用户在价格-时间平面发现低价住房，相同的住房可以同时在其他两个平面内得到高显（见图3-29）。我们在这里又再次用到了*扫光*。考虑到变化盲视，我们必须确保用户能注意到高显效果。因此，相对于简单地在三个散点图中将一个小点的颜色从黑变成红，我们可以结合放大和改变颜色来显示高显效果（见图3-29）。即使这种效果是暂时的，它也可以有效地凸显当前焦点在各个空间内的分布。

37 ~ 44

通过以上例子我们可以看到散点图矩阵是描述三变量数据的有效方法，但并非唯一途径。以产品故障数据为例，几乎所有大规模生产线都会遇到各种故障。例如，汽车车载电台的故障报告很容易记录，但要想在缺少故障产品的情况下找到故障原因会花费昂贵的代价。图3-30所示的信息可视化工具可以帮助诊断原因：两个属性分别表示产品生产日期和无故障运行月份数等两个自变量。每个圆的大小表示在某个特定月份生产并已无故障运行了特定月份数的产品数

45

量。这种描述方法有助于故障诊断。例如，如果某个月内出现了大量故障，而又与产品无故障运行月份数无关（见图3-30），那么这些故障叫做“传染性故障”，产品经理应该对这个月份的产品进行仔细分析。如果很多故障发生在斜对角线位置，这说明故障发生在同样时段内，从而暗示了季节性影响的可能性。

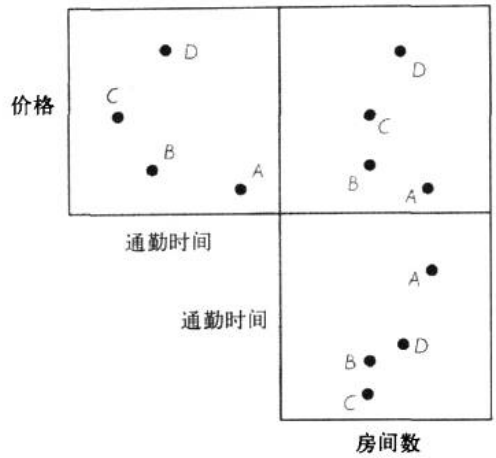


图3-28 散点图矩阵显示了和图3-26相同的数据集

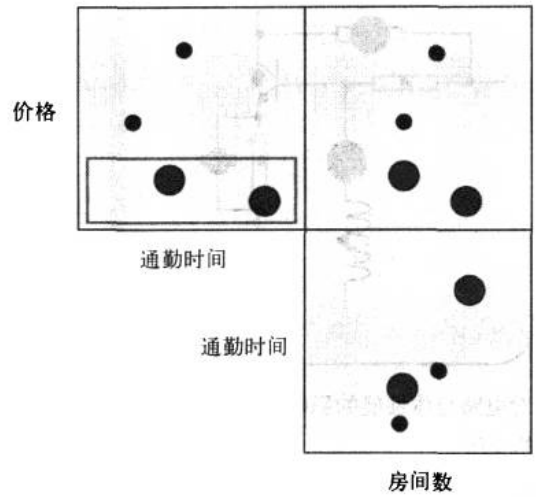


图3-29 当前空间内的焦点住房可以通过扫光在其他空间内得到高显（见彩图）

同图3-22电路设计例子类似，还有另一种对三变量数据的描述方法。图3-31显示的电路图中加入了一些圆，这些圆反映了相应部件对整个电路性能的影响力。如果这个电路是高保真放大器，设计师需要了解这些参数在不同频率下的变化情况。动画是一个最简单的解决办法，例如用户可以不断拖动右边的滑块来改变频率，圆的大小会随之产生相应的变化。

地图是三变量数据描述的一个特殊类别。地图上显示了位置信息（经度和纬度）以及一些对象的值或属性。图3-32显示了英格兰、苏格兰和威尔士的主要大城市的人口。圆的大小代表每个城市的人口，因此我们可以很快判断出人口的基本分布情况。我们可以说这幅图传达的信息是醒目的。我们不需要通过查看具体数字来判明人口最多的城市或各城市的相对人口数。因此，相对于花费大量用户认知的工具，对用户感兴趣的信息进行醒目描述将有效地帮助用户提

取出有用信息。支持快速理解的数据编码和人类的视觉系统紧密相连，我们接下来将对其做详细讨论。

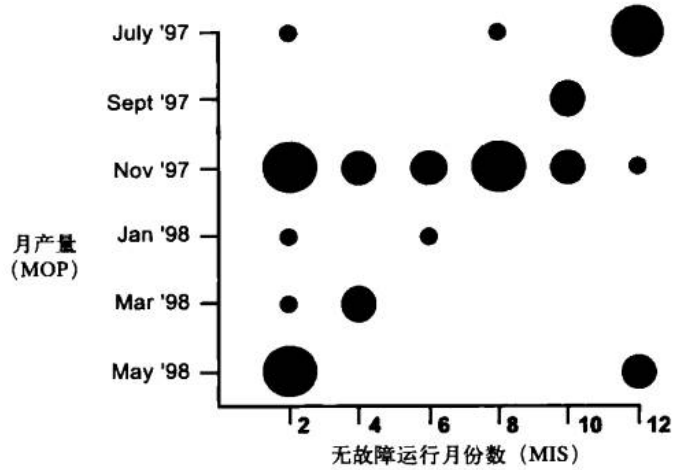


图3-30　对产品故障报告的描述，基于月产量（MOP）和无故障运行月份数（MIS）。每个圆的大小表示给定MOP和MIS值对应的故障数

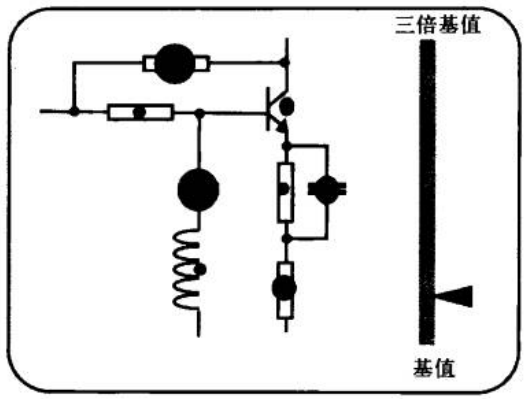


图3-31　圆代表每个部件对电路总体性能的影响力。在基值和三倍基值之间变化的频率将导致圆的大小发生相应的变化



图3-32　英格兰、苏格兰和威尔士的主要城市的人口描述图，圆的大小和每个城市的人口成正比

2. 下意识处理（pre-attentive processing）：令事物变得醒目

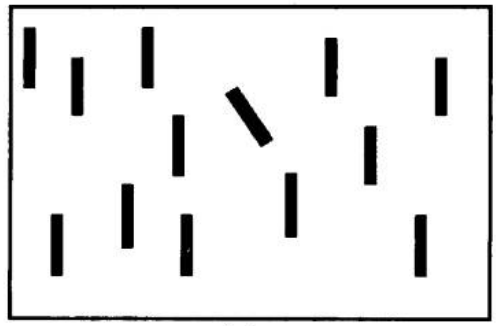
我们已经反复提到了无须仔细审查而令信息变得醒目这一需求。正如Colin Ware（2004）评论的："我们可以对符号做一些处理，使它们即使是短暂一瞥也能被视觉化地识别出来。某些形状或颜色可以将对象和背景区别开来。由于发生在有意识处理前，因此令事物变得醒目背后的理论机制叫做**下意识处理。**"Ware提到的"短暂一瞥"通常指30～300毫秒不等的时长。Ware的以下评论显示了下意识处理的重要性（Ware, 2004, page 149）：

45～47

对下意识处理的理解也许是视觉科学对数据可视化的最重要的贡献。

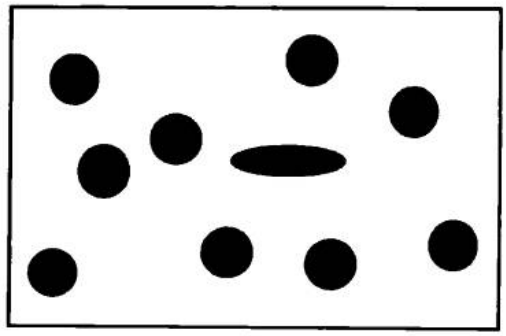
不需要有意识处理就能获取到信息将带来大量的好处，因此对交互设计者而言一个明显的问题就是"我们如何使信息变得突出？"。Ware（2004）从人类视觉系统角度对下意识处理进行了深入的讨论。我们在这里通过一些例子来为交互设计者提供一些基础的概念。

对于熟悉英国地图的用户而言，第一眼看到图3-32就能迅速找到英国人口密度最大的城市。同样，图3-33～图3-35中不同于其他的那个物体能被迅速地定位。下意识处理还可以帮助我们在图3-36中迅速定位蓝色的方块。需要注意的是，在图3-37中的多个红色或蓝色的方块或圆中定位一个红色的方块时，下意识处理并未出现，需要对这些物体做仔细审查才能找到这个红色方块。这是由于对同时满足方块（相对于圆）和红色（相对于蓝色）物体的定位需要用到"联合编码"（conjunction encoding）。



方向

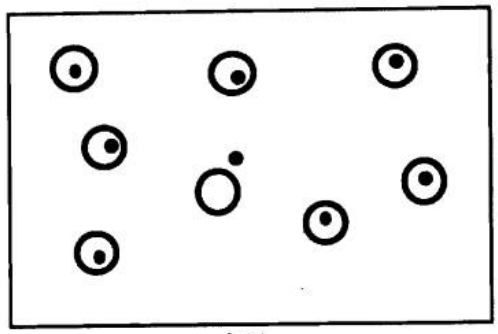
图3-33 有异于其他的线条可以通过下意识处理得到快速定位



形状

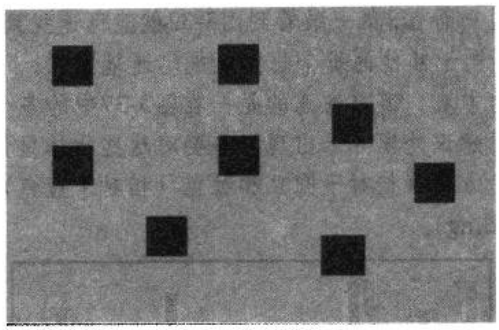
图3-34 特别的形状经常是醒目的

48



包围

图3-35 没有被圆圈包围的点可以被下意识定位



颜色

图3-36 不同的颜色可以被下意识处理（见彩图）

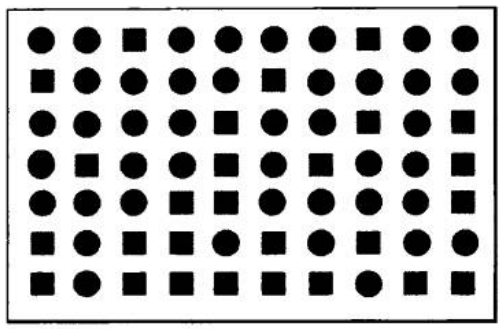


图3-37 联合编码导致红色方块不能被下意识处理（见彩图）

以上最后一个例子并不意味着“多事物醒目”（multiple pop-outs）是不可能的。一个最具代表性的例子是Irani和Eskicioglu在2003年提出的移动电话网络性能的新颖描述。图3-38是对网络中每个单元的描述，颜色和大小代表重要的性能指标。为了使多单元描述变得更紧凑，他们为每个单元加置了一个如图3-39所示的外边框。一旦专业用户锁定了如新增通话阻隔率等某个特定性能，不需要考察其他属性编码，该选定性能的相关信息就能自然地得到凸显。我们可以看到这种描述的一个优势是图3-39的上半部中出现的箭头使得额外单元的位置信息变得醒目。

以上讨论的例子都是关于数据的静态描述。幸运的是，下意识处理的优势可以通过手动或自动控制的动画得以扩展。例如，图3-40显示了和图3-32相同的人口密度分布图，不同的是另外附加了一个1900年以来的时间表。如果该时间表的每一个时段所对应的地图能依次显示5～

10秒（圆的大小表示人口密度），那么可以很容易地得到城市人口变化的心理模型。即使每幅地图是静态的，新的人口中心城市的出现也可以立即变得醒目。第5章将详细讨论如何利用动画来凸显信息。

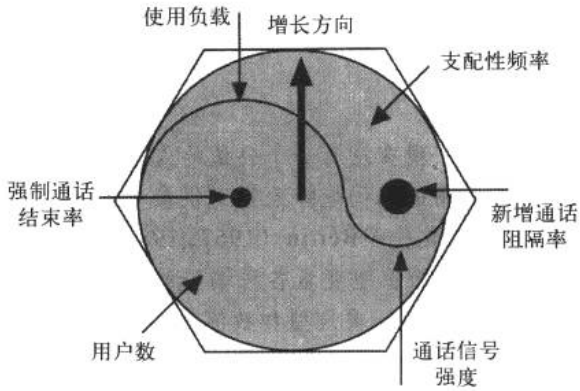


图3-38 移动电话网络性能描述（见彩图）

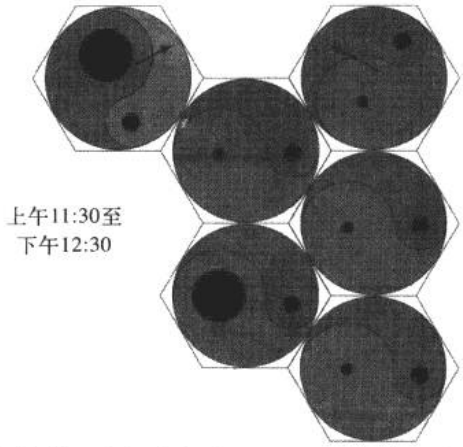


图3-39 移动电话网络一个小时内（11:30～12:30）的平均性能描述（见彩图）

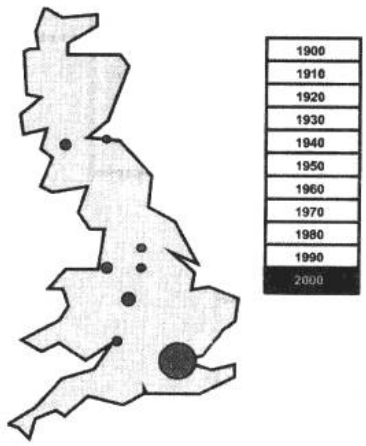


图3-40 圆的大小随着时间的变化而改变，使得人口的突然变化变得醒目

虽然图3-40使用大小来表示城市人口看似是合理的，但是人们还是会问一个很自然的问题："为什么？为什么不使用阴影、条状图、颜色或形状？"。我们已经看到一些应用（例如Minard地图）适合用圆或线条的大小或粗细进行量化编码。在这些例子中颜色和形状可能不太适合，它们更适合需要对物体的相似度或差异度进行判断的情况。我们可以很清楚地看到对给定任务设定编码指导原则的必要性，但要认识到这些原则是取决于诸多因素的。我们接下来将对这个问题进行简要讨论。

3. 编码选择

50
|
51

虽然Mackinlay（1986）指出"现在没有一个公认的人类认知能力理论可以用于证明图形语言的有用性"，但还是有一些可用的编码选择原则可供参考。我们在这里主要讨论其中三个原则。第一个例子由法国信息可视化先驱Bertin（1967, 1983）提供。第二个例子是关于统计学家Cleveland和McGill（1984）对数值型变量各种编码的判断精度的评估。第三个例子来自Mackinlay（1986），其主要考虑顺序型、类别型和数值型数据。

4. Bertin指导原则

Bertin提出了信息可视化的四个常规任务以及他认为适合这些任务的编码方法。他将结论表述在一个和图3-41类似的图表中。其中"标记"（mark）一词表示编码结果（例如一条线或一个着色的圆）。其基本任务主要分为四类：

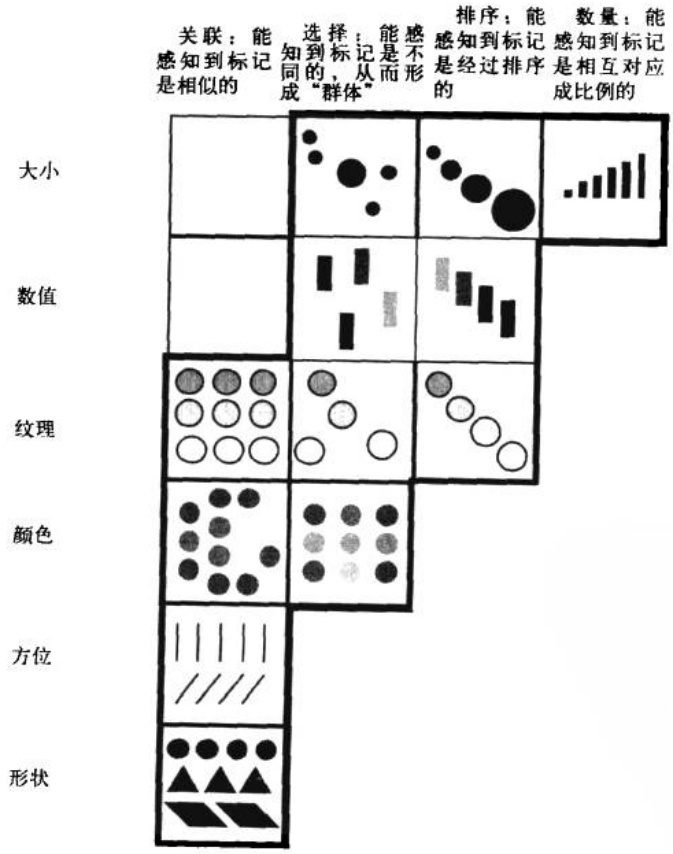


图3-41 对四类常规任务的Bertin编码原则（见彩图）

- 关联：关注对标记相似度的感知。
- 选择：在这里Bertin关注的是标记是否能被区分，从而形成不同的“群体”。
- 排序：能看出标记是经过排序的吗？
- 数量：能看出标记是相互对应成比例的吗？

这些编码原则（通常也叫视网膜变量）主要涉及大小、数值[⊖]、纹理、颜色、方位和形状。从图3-41中可以看到，Bertin根据各个编码方法所支持的基本任务类型对它们进行了大致的排序。对图3-41的深入探索证明了这些编码原则的合理性。但是需要指出的是，合理编码原则的选取取决于具体的应用环境，因此这些原则还需要进一步的讨论。

平铺条形图（TileBars, Hearst, 1995）界面显示了任务对Bertin编码方法的影响。平铺条形图支持的任务是在文件集合中找到和某个特定用户查询相关的文件子集合。它从用户接收一组主题词以及一组可能相关或不相关的文件。例如，假设用户对骨质疏松症的预防有兴趣，可能会提供如图3-42所示的三个关键词。与之对应，平铺条形图会为每个文件返回一个如图3-43上半部所示的相关性描述。其中每行对应一个主题词，列对应文件的每个片段（可能是段落、页或章节）。每个方块代表一个片段，它的阴影密度表示该片段中主题词出现的频率。因此，从图中可以看到，在“制药业的最新研究成果”一文的第一个片段中预防一词的出现频率高于研究和骨质疏松症。在第五个片段中的三个主题词都被反复提及，这意味着该文章值得进一步地检索，而且检索最好从第五个片段开始。对第五列做交互可以看到图3-43下半部所示的描述，显示了对应的文章段落，出现在其中的主题词得到高显（如图3-43下图所示）。



图3-42 用户定义的三个感兴趣的主题词（见彩图）

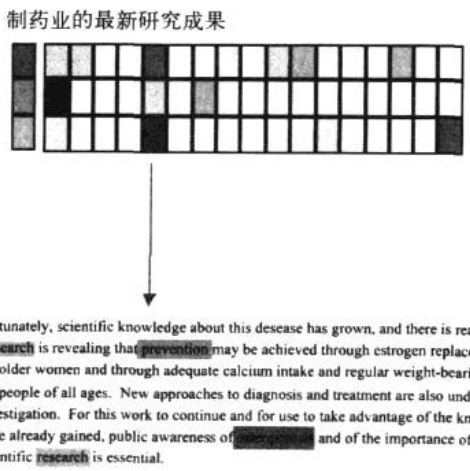


图3-43 （上图）平铺条形图显示了段落和主题词间的相关性；（下图）在被选段落中出现的主题词得到高显（见彩图）

⊖ 根据Bertin定义（Bertin, 1967; 1983, page 73），数值不仅仅局限于灰度级，“数值可以从黑经由灰、蓝或红过渡到白”。

5. 对数值型数据编码的判断精度

统计学家Cleveland和McGill（1984）从不同角度对编码方法进行了研究，重点讨论人们对数值型数据各种编码方式的判断精度。该研究同Bertin的编码机制类似，具体来说是在单变量数值型数据的基础上对图3-41中的Bertin矩阵的最后一列进行了研究。他们的研究成果显示在图3-44中，各编码方法根据所支持的对数值的判断精度排序。

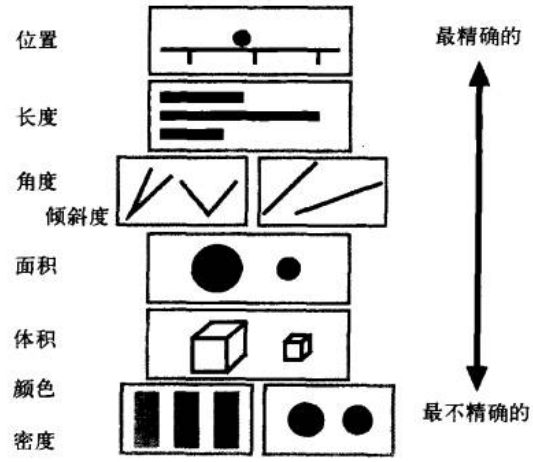


图3-44 Cleveland和McGill建立的编码评估机制显示了对数值型数据编码方式精确度进行判断的难度（见彩图）

6. 数值型、顺序型和类别型数据

Mackinlay（1986）对数值型和非数值型数据的编码做了深入研究，提出了如图3-45所示的排序。Mackinlay指出，同一编码方式在图中三种排序中的不同位置取决于其“涉及的附加认知任务”。

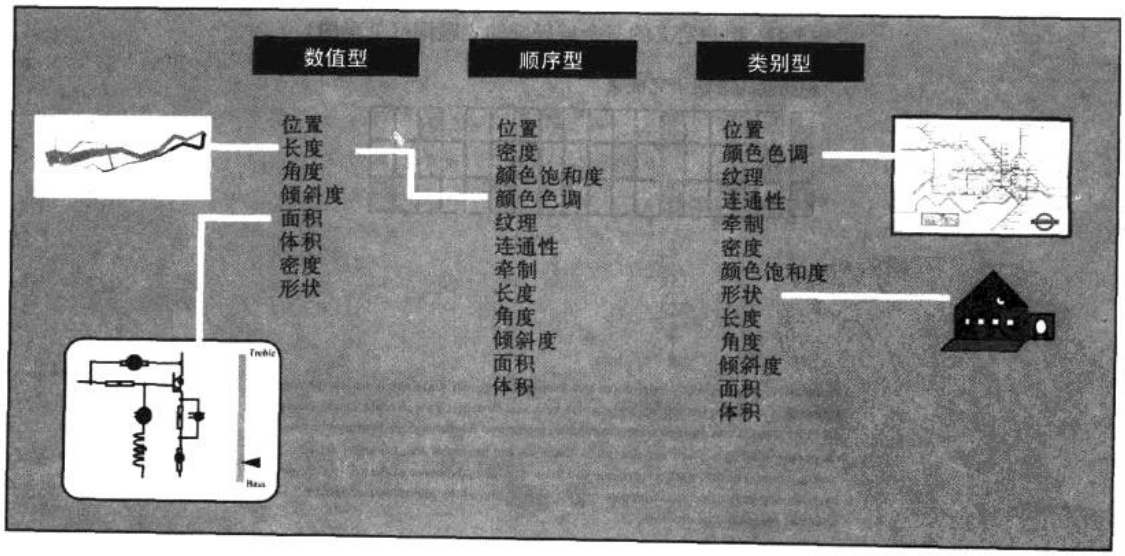


图3-45 Mackinlay对数值型、顺序型和类别型数据的编码指导（见彩图）

前面讨论过的描述方法均能在图3-45找到，它们中的一部分作为示例出现，但并未出现在排名顶端，这显示了编码方法的选择受诸多因素的影响。例如，在Minard地图中很难用位置代

替原始的长度（线条宽度）来表示军队数量。同样的，Beck也很难用除颜色以外的其他属性来区分不同的地铁线。Minard很难用位置来描述进军和撤军的顺序。我们必须明确这幅地图的设计目的在于保证信息的凸显及强调定性理解（例如，“只有很少一部分士兵活着回来了”）。如果用户感兴趣，可以通过查看具体数据将之变为定量理解。类似的，图3-31中用圆的大小来描述电路中每个部件对电路整体性能的影响力，主要是考虑到电路设计师（至少在初级设计阶段）更关注某些部件的效力大小。用多维图标来表示一栋住房的不同属性是出于另外的考虑，其中的图标式编码设计是选择超变量数据编码方式时需要考虑的另外一个因素，我们将在后面章节中加以讨论。

3.1.4 超变量数据

超变量数据（也叫多变量数据）描述一直是一个富有挑战的课题，刺激着新技术的不断产生。许多实际问题都涉及高维数据，能从一定程度上通过信息可视化加以解决。即使是最简单的芯片设计也可能涉及超过100个部件，这些属性的设定必须满足超过200种设计规范。类似的，选取投资专家或决定是否研发新药都涉及复杂的决策过程。在习题3.3中我们将看到，即使是为学生筛选最具代表性的8项学术成绩都有可能是一项复杂的任务。

前面讨论过的一些数据描述方法可以在某些限定条件下进行扩展以用于对超变量数据的描述。例如，用于描述文字的平铺条形图可以描述多于三个的关键词，交互式直方图（将在下面讨论到）可以扩展到多个属性；第2章中提到的条形图可以有效地用于具有多属性的一组对象的描述。

1. 坐标图（coordinate plots）

（1）平行坐标图（parallel coordinate plots）

超变量数据描述中最流行且最具价值的方法叫平行坐标图（Inselberg, 1985, 1997; Wegman, 1990）。为了讨论该方法的基本原理，我们首先假设一个简单的双变量数据例子：用一个散点图表示两栋住房的细节（见图3-46），每栋住房表示为图中的一个点。想象一下，现在散点图的两轴被拆分并放置为两条平行的轴（见图3-47）。由于住房必须由两轴上的各一点来共同描述，因此轴上的点数会双倍增加。

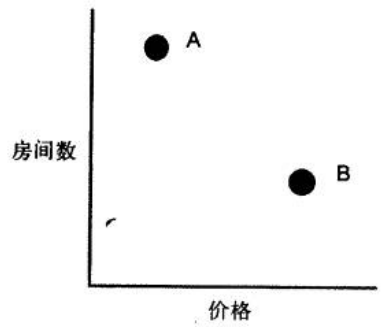


图3-46 一个简单的散点图显示了两栋住房的价格和房间数

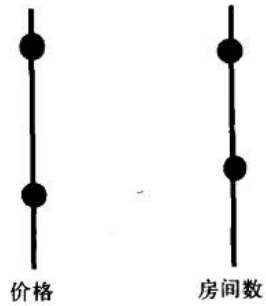


图3-47 平行坐标图是散点图的替代描述法，两属性轴变为平行，因此需要用两个点来描述一栋住房

为了显示表示同一栋住房在两轴上的点之间的联系，可以在这两点间加上直线和标签（见图3-48）。我们可以从这种描述中得到什么信息？对于双变量数据，我们并不能从中得到什么。但如果需要处理的是包含多个属性的对象，这样的平行坐标图能带来很多的好处。图3-49显示了6个对象的平行坐标图，每个对象具有A到G 7种属性。每个对象分别由每个轴上的一点加以描述，这些点由线段连接。从图中我们可以立即（下意识的）发现属性A和B之间的相对性以及属性B和C之间的强相关性。虽然平行坐标图已经在很多商业信息可视化工具中得到应用，我们还是必须指出它的一些不足之处。例如，对于图3-49所示的数据，很难看出属性B和E之间的相对性以及属性C和G之间的相关性。换句话说，属性的顺序强烈地影响着关系发现的难度。

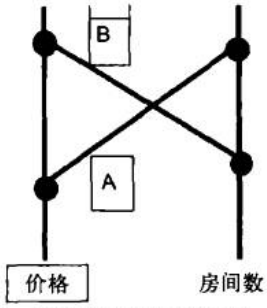


图3-48 为了避免用两点描述一栋住房带来的模糊性，将这两点用线段连接并加上标签

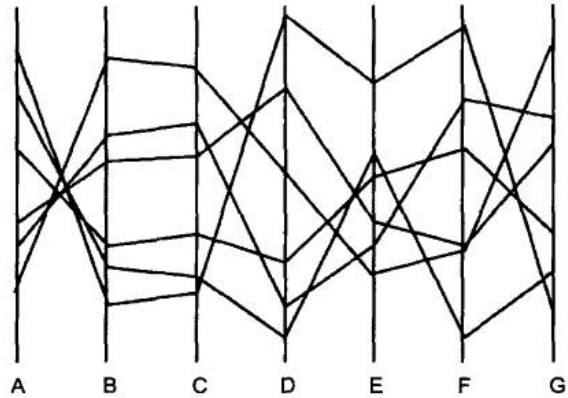


图3-49 6个对象的平行坐标图，每个对象具有A～G 7种属性。很容易发现属性A和B之间的相对性以及属性B和C之间的相关性，但属性B和E之间的相对性以及属性C和G之间的相关性却很难看出

同其他很多可视化工具一样，交互可以为平行坐标图带来很多的好处（Siirtola, 2000）。例如，可以设定某个属性的范围，让所有落入这个范围的对象的线条得到高显（见图3-50）；对属性范围的手动实时修改使得用户可以快速理解不同属性间的关系。其他附加功能有平均值、标准方差以及Tukey箱形图等。如果同时设定两个属性范围，可以对它们做“与”或者“或”的操作，即只高显同时满足两个条件范围或至少其中之一的对象线条[⊖]。平行坐标图有大量的应用，例如利用其提高芯片制造效率（Inselberg, 1997）。

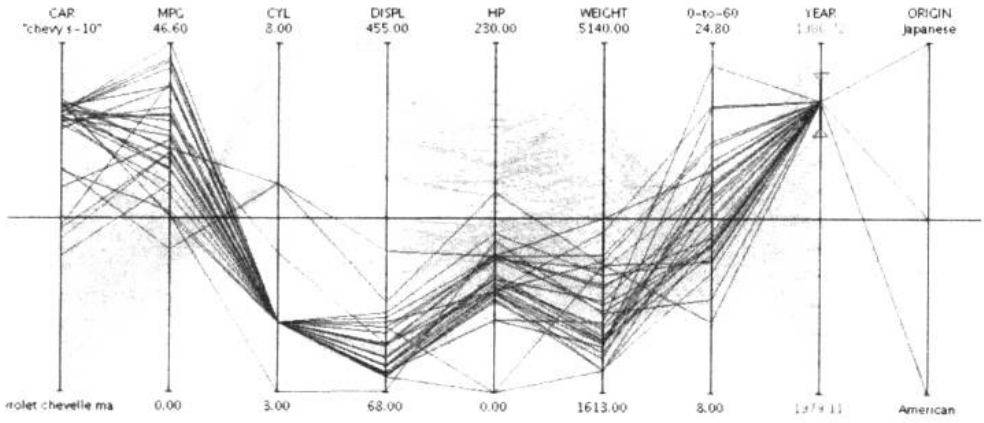


图3-50 表示多辆汽车的平行坐标图，符合设定年代属性的所有汽车数据得到高显。图片来源：Harri Siirtola

对平行坐标图所能带来的益处做探讨是十分必要的。在散点图中，每个对象能很容易地得到定位，并且和其他对象有着清晰的区别。但在平行坐标图中就不然了，因为每个对象由连接多个点的多条线段表示，而这些线条又常常和其他对象的线段交叉。平行坐标图里最明显的就是各个属性的特点以及它们之间可能存在的本质关系。因此，从迅速获取的醒目启示中，我们常常可以得出诸如“大多数车有四个气缸”或“似乎低MPG的汽车价格都比较高”等结论。因此，我们认为平行坐标图支持**属性可见性**（attribute visibility）。这里的可见性指不用耗费大量认知成本就能下意识地获取信息的能力。等我们讨论了足够多的编码示例后，我们会再回过头来介绍可见性和关联性的概念。

平行坐标图和其他一些技术共同享有的一个重要优势是它们的复杂度（在这里特指轴的数目）和属性数量直接相关。有时它还有一个其他技术所不具有的优势：所有属性享有平等性（Feiner and Beshers, 1990）。对平行坐标图的持续研究可参看文献（Bendix *et al.*, 2005; Siirtola, 2006）。

（2）星形图

星形图在本质上和平行坐标图很类似：对象的每个属性表示为轴上的一点，该对象的所有属性所对应的点用直线加以连接。二者的区别在于星形图中所有轴都从一个相同的原点往外发散。因此，从一幅学生成绩图（图3-51）的星形图中可以看到，和班级平均成绩相比（灰色区域的边界），该学生的数学和化学成绩很好，但运动和文学比较差。为了和另一个天才学生

⊖ 有心的读者可能发现该图中汽车的马力或每加仑公里数通常为无意义的零值。实际上，这些数据是有误导性的，数据的缺失为可视化设计者带来了新的挑战。

Tony做比较，可以用到两个独立的星形图（图3-52）。星形图的形状可以提供对学生成绩的基本印象，并且支持对不同学生的对比。因此，可以认为星形图提供了**对象可见性**（object visibility）。平行坐标图特别适合于观察不同属性间的关系，而星形图更有助于特定对象的比较。星形图已经应用于各种事物的对比，如警察部队或抵押贷款等。可以将其他一些编码技术如颜色和粗细等加入到星形图中以提供额外的灵活性。

52 ~ 59

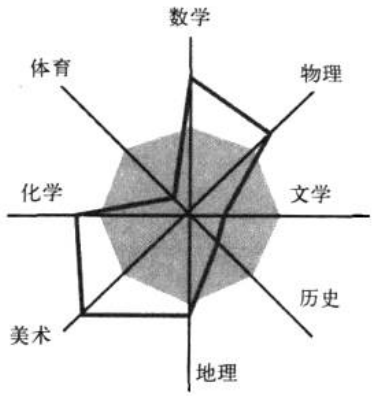


图3-51 在星形图中，所有属性轴都始于相同的一个原点。由于形状通常可以有效地表示一个对象的多个属性，因此每个轴上的点可以连接起来形成一个形状。其他有用信息如平均值或阈值也可以表示在星形图中

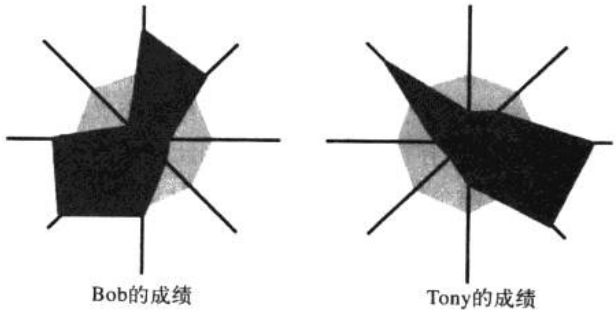


图3-52 星形图可以用于比较两个不同对象的属性。本图显示了两个不同学生的各科考试成绩（具体科目名称见图3-51）

2. 散点图矩阵

我们在三变量数据描述中讨论过的散点图矩阵也可以用于超变量数据的描述。但是该描述的一个主要缺点是由于数据维数的增加，成对的属性数目大量增加。两个属性只需要一个散点图，三个属性需要三个散点图，而对于四个属性我们需要六个散点图。因此，对于有四个属性的100栋住房，散点图中将出现600个点。这和平行坐标图以及后面将会讨论到的属性浏览器的线性增加的复杂度相矛盾。虽然对散点图能处理的属性数最大值没有严格理论界定，但复杂度对维度的依赖性时常成为一个制约因素。

Ahlberg等结合散点图和其他一些编码技术提出了一种超变量数据的有效描述（Ahlberg *et al.*, 1992; Ahlberg and Shneiderman, 1994）。电影选择器（图3-53）是一个交互式电影选择工具：在主要的（散点图）显示区域中，每个彩色方块表示一部电影，颜色表示电影类型（如恐怖片、

音乐片等)。每个方块的水平坐标表示电影制作年代，纵坐标表示电影时长。位于右边的滑块可以用于设置导演或演员等电影属性条件，拖动条用于设置电影制作年代或时长（见图3-54)。这个电影选择器显示了充分结合各种不同技术的优势。

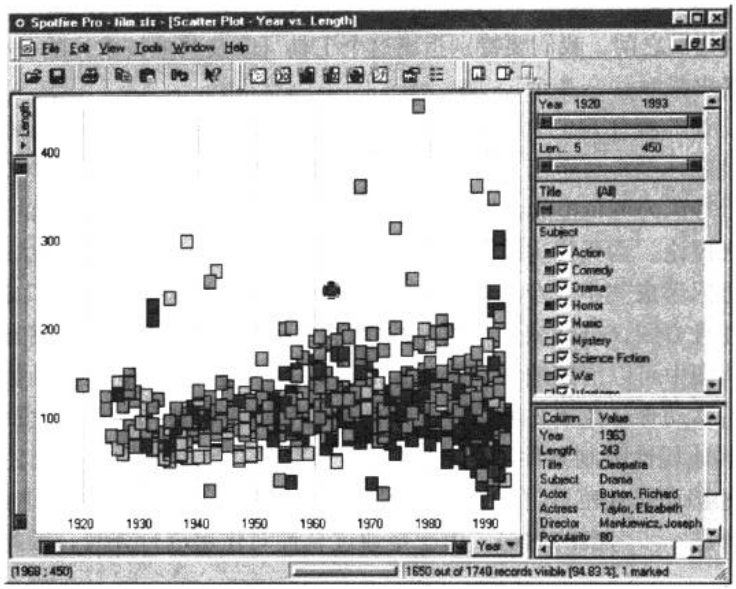


图3-53 通过额外的选择技术来增强散点图的功用，允许用户对如片型、时长、制作年代等电影属性进行选择（见彩图)

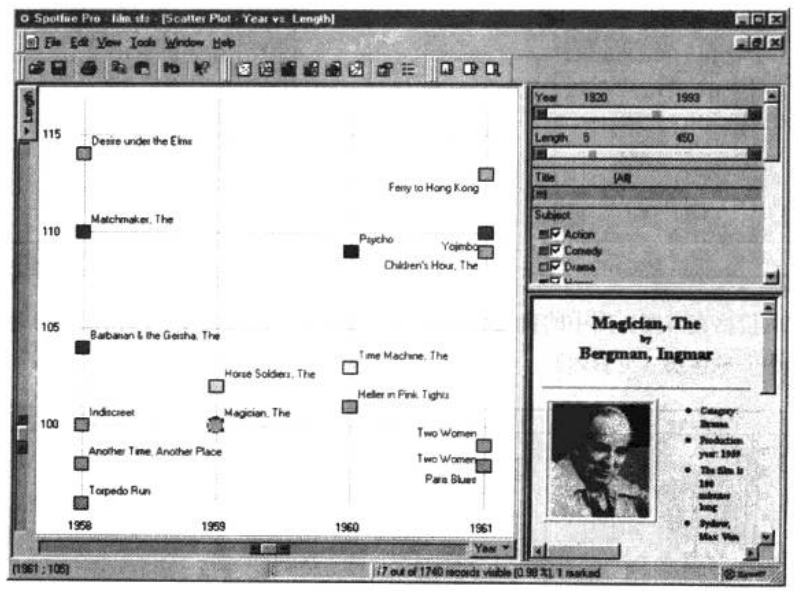


图3-54 当用户选择了特定的制作年代和时长范围后，系统自动显示符合条件的电影的细节信息（见彩图)

3. 关联直方图

我们在讨论双变量数据时介绍的关联直方图也可以推广到超变量数据的描述。在属性浏览

器中加入额外编码技术可以显著增强系统功效（Tweedie *et al.*, 1994; Spence and Tweedie, 1998）。我们可以通过购买住房或汽车这样的例子来展示该技术的一般实用性：

60 ~ 61

对于给定的有多个属性描述的一组对象，要想找到最合适的对象或几个待选对象，需要进行更多的细节性考虑。

在介绍属性浏览器之前，我们要特别指出这个工具（以及其他技术）的一个很重要的任务：从超变量数据中提取信息启示。

我们首先从检查一组住房的价格属性直方图着手（图3-55）。每栋住房被表示为直方图中的一个小方块。设定一个价格范围后，可以清楚地看到符合条件的住房高显为绿色，它们可以作为用户初始查看时认为可负担的备选项（图3-56）。落在这个价格区间之外的住房也得到显示，其原因我们马上会讨论。购买住房时要考虑的因素有很多，为了方便地建立属性浏览器的基本概念，我们在这里只考虑其中三个属性：价格、房间数和花园面积。图3-57显示了同图3-56相同价格范围的属性直方图，符合该价格范围的住房在所有直方图中均得到高显，这也是扫光技术的一个体现。从图中可以清楚地看到所设定的价格范围同花园面积及房间数之间的关系。通过动态探索如前后移动价格范围，就可以很清楚地看到房屋价格和房间数之间的关联性。如果在此基础上添加其他属性限制条件（图3-58），则只有符合所有属性条件的住房才得到绿色高显。同样的，通过移动属性范围值或改变上下限可以帮助用户在住房数据中提取出有用信息，从而逐步确定值得进一步考察的住房。由于是通过属性对住房进行查看，因此这种技术称为属性浏览器。

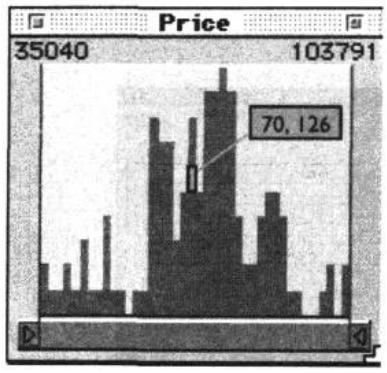


图3-55 一组住房的价格直方图。图中的黄色小方块表示其中一栋住房（见彩图）

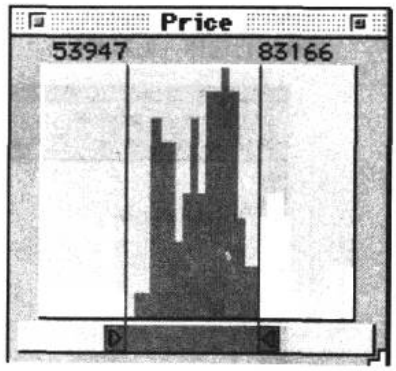


图3-56 设置价格属性范围，符合条件的住房得到绿色高显（见彩图）

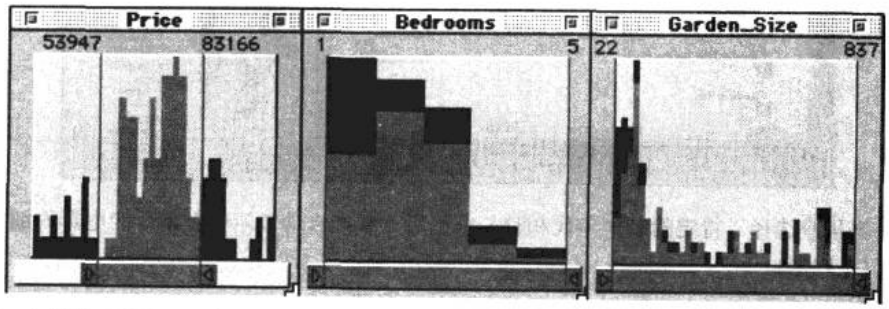


图3-57 价格范围和图3-53相同，符合该条件的住房在其余两个直方图中同样得到高显（见彩图）

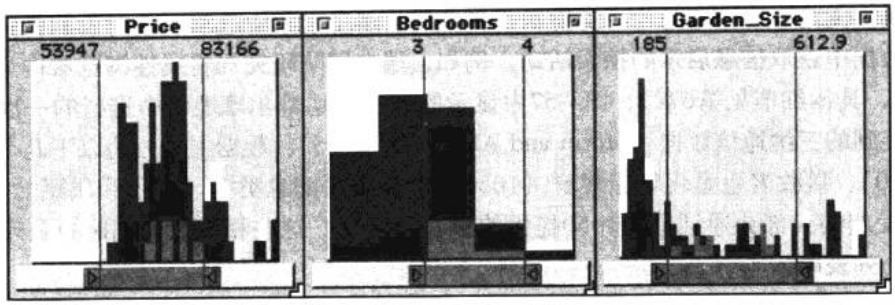


图3-58 只有满足所有条件的住房才得到高显。仅不满足其中一项条件的住房显示为黑色，因此如果放宽对应的限制条件，这些黑色的住房就能变为绿色（见彩图）

62
~
63

颜色编码在属性浏览器中扮演着重要的角色。黑色表示的是仅不满足一个条件的住房。因此，如果一栋黑色住房位于设定区间外，则该属性是这栋住房唯一不满足的条件。这是非常有用的信息。如果消费者设定了房屋的价格上限，他们自然也希望了解所有唯一不满足这个条件但和设定价格范围相差不大的住房。扩大区间范围将使黑色住房纳入满足条件的住房范畴，同时使它的颜色由黑色变为绿色，即说明该住房由不满足该条件变为满足所有条件。

图3-59说明在没有满足所有条件的住房的情况下，黑色编码的作用变得尤为突出。在这个例子中，我们看到只需再多付一点钱，就有一栋住房符合所有条件；将房间数放宽至三个房间，就可以看到许多符合条件的住房。令人吃惊的是，现有的房屋在线销售系统中很少提供这个功能。

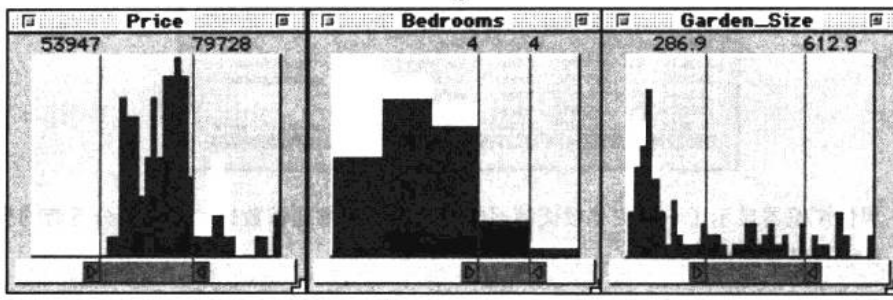


图3-59 即使没有满足所有条件的住房，唯一不满足一个条件的黑色住房也为放松限制提供了指导方向（见彩图）

对于特别是有体验的用户来说，属性浏览器的实用性是不言而喻的，例如选定在特定日期内的航班、购买移动电话或洗衣机等。属性浏览器可以和其他技术相结合，例如，在平行坐标图的每个轴上显示一个属性浏览器直方图用以进一步观察属性值的分布情况，或者通过扫光技术来查看属性间的关系。当然，属性浏览器不仅仅局限于数值型数据，它还可以处理数值型、类别型和顺序型数据的组合。数据可视化滑块（Eick, 1994）是和属性浏览器同时期出现的另一种技术。为实现交互式属性范围的设定，作者特别强调："内部空间的利用，例如使用交互式颜色带、为离散数据提供条形图、为连续数据提供密度图等，都可以增强滑块的可用性。"（Li and North, 2003）通过一系列任务对属性浏览器和动态查询界面（见第5章图5-23）做了对比。研究结果显示浏览器中提供的扫光直方图有助于解决复杂的任务，并且该技术可以通过可缩放界面或颗粒度控制等措施得以改进。

设计属性浏览器的初衷是为了支持基于属性的从多个对象中选取一个对象的任务，它同时也支持从数据中获取**信息启示**的探索活动。例如，瑞典国防研究局将属性浏览器作为调查工具
64 （见图3-60，具体细节见第6章）。图3-57中显示的是在斯德哥尔摩地铁中进行的一次地铁出轨演习中收集到的三维通信数据（Morin and Albinsson, 2005）。数据主要分为以下几个类型：发送者（1710）、接收者也是现场指挥官（1050）以及两类消息类型（报告和质疑）。绿色部分显示1710发起的大部分通话是向1050提供的报告和质疑。这些相关数据同时也显示在属性浏览器下方的列表中。

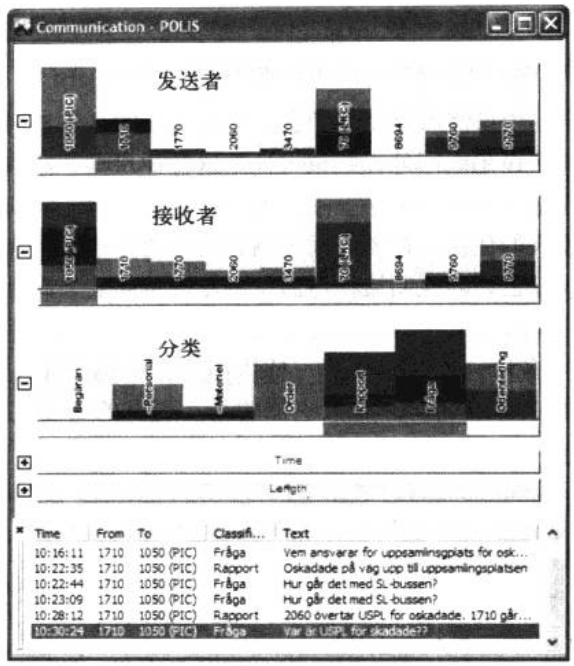


图3-60 属性浏览器显示了一场灾难救援演习中收集到的三维通信数据，它支持分析者的交互式探索（见彩图）

4. 镶嵌图

镶嵌图（mosaic plots）的概念可以通过泰坦尼克号一例加以解释。泰坦尼克号事件发生在1912年春，2201人中有1731名旅客及工作人员丧生（Dawson, 1995）。表3-1显示的原始数据包含四个属性：性别、是否存活、舱位等级以及成人/儿童。如果没有仔细分析，很难从这个表中读出有用信息。我们可以通过以下方法生成一个对应的镶嵌图（Friendly, 1992, 1994,
65 2000）：首先生成一个矩形，令它的面积表示船上的总人数（图3-61a）。然后根据舱位等级将这个矩形分成四个稍小的矩形，它们的面积表示各舱位的人员数（图3-61b）。下一步再根据各舱位内的人员性别对这四个矩形进行细分（图3-61c），从中我们可以立即看出一些信息，如头等舱、二等舱和三等舱中的男女比例。最后，我们根据存活与否（存活表示为绿色，死亡表示为黑色）或成人/儿童对已有矩形进行再次细分，得到图3-61d。这个镶嵌图提供了对泰坦尼克号事件的最直观的描述，同时也可以回答很多新的问题，比如“乘坐三等舱的女性有哪些？”、“为什么头等舱的大多数女性都幸存下来了？”、“为什么女童存活率高于男童？”等。

表3-1 泰坦尼克号事件的原始数据

存活	年纪	性别	舱位			
			头等舱	二等舱	三等舱	工作人员
否	成人	男	118	154	387	670
是			57	14	75	192
否	儿童		0	0	35	0
是			5	11	13	0
否	成人	女	4	13	89	3
是			140	80	76	20
否	儿童		0	0	17	0
是			1	13	14	0

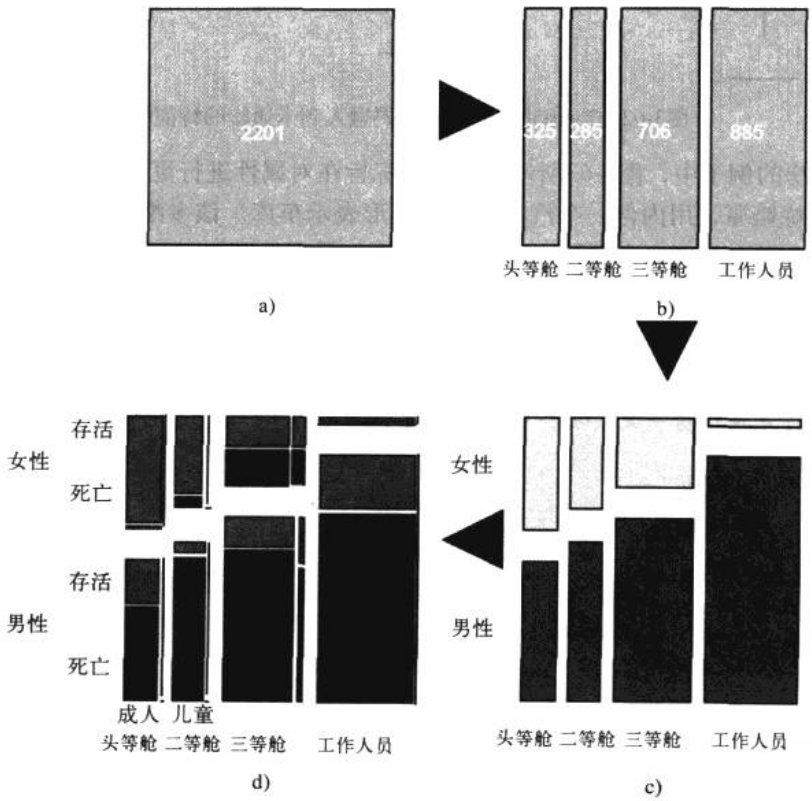


图3-61 泰坦尼克号事件的镶嵌图的生成过程（见彩图）

镶嵌图生成过程中划分各方块所依据的属性顺序可以根据实际需求进行调整，读者可以尝试各种不同的排列顺序（见本章习题）。如果想对镶嵌图做进一步的了解或查看更多的例子（Friendly, 2000），可以访问Friendly（2000）的网站。

5. 图标

对象可见性是数据描述技术的特性之一，对单个对象的清晰描述有助于对其属性做定性或定量的分析。我们在这里主要讨论两个例子，其中一个例子最初是用做地质样本特征描述，另一个则是用于住房选择。

斯坦福大学的统计学家Chernoff教授发现人类对很多面部特征非常敏感，因此建议将表情

特征如眼睛大小和鼻子长度（他标明了18种不同的类型）等特征加入到卡通人脸中，从而形成一个有效的编码机制（见图3-62）。他将这个想法实践于地质样本的研究中（Chernoff, 1973），每个样本有诸如水分或盐分等18个属性。他发现所谓的Chernoff脸有助于对感兴趣样本组的识别。如果会计师等工作作风严谨的用户想要使用这样较为随意的计算机生成的卡通脸，那么他们必须在此之前就已经掌握了用Chernoff脸来展示会计数据的方法（Stock and Watson, 1984）。考虑到用户可能希望某个属性比其他属性拥有更多的细节信息（Morris *et al.*, 1999），De Soete（1986）为各种面部表情特征设定了相对值。Ware（2004, page 253）认为需要用到中性硬件来处理脸部特征。



图3-62 Chernoff脸将属性编码融入到卡通脸的特征中

在购买住房的例子中，图3-63所示的多维图标旨在对属性进行更为直接的描述，例如用船形图标表示一栋船屋，用内含一个汽车图标的矩形表示车库。该多维图标描述了住房的8种属性。读者也许会马上想到一个问题，这样的多维图标是否比图3-64所示的常见的文字描述更有用呢？为了研究这个问题，Spence和Parr（1991）进行了对比实验，实验要求参与者完成一系列给定的任务，下面是其中一个代表性任务：

你的住房预算最多为200 000英镑。综合考虑房间数和花园面积，选择一栋你觉得最合适的住房，但前提是该住房一定要有中央供暖设备。

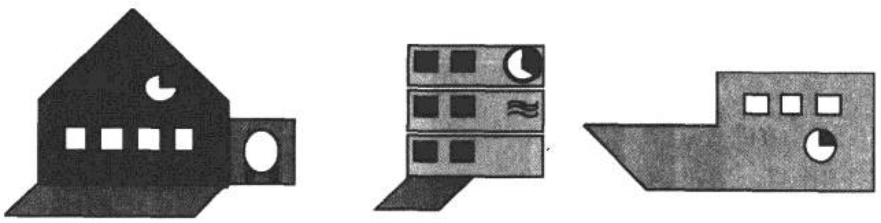


图3-63 多维图标描述了住房的8种属性（见彩图）

独栋住房	公寓	船屋
400 000英镑	300 000英镑	200 000英镑
有车库	无车库	无车库
中央供暖	中央供暖	无中央供暖
4个房间	2个房间	3个房间
维修状态好	维修状态好	维修状态好
大花园	小花园	无花园
车程15分钟	车程20分钟	车程15分钟

图3-64 图3-63所示住房的文字性描述

实验参与者面对两种情形，56栋住房的详细情况均用图3-63所示的多维图标和图3-64所示的文字描述加以表示。为了保证数据显示的一致性，在这两种设置下，所有房屋均显示在一个7×8的矩阵中（图3-65）。结果显示用图标进行住房选择所耗费的时间大约是基于文字方法所耗费的时间的一半。通过对用户行为的观察，研究者发现相对于打印在纸上的数据，交互式界

面应该提供某些标记功能，例如允许用户做“忽略”或“考虑”等标记以起到简化任务的作用。在纸质设置中，参与者用图钉来实现标记功能。 66~68

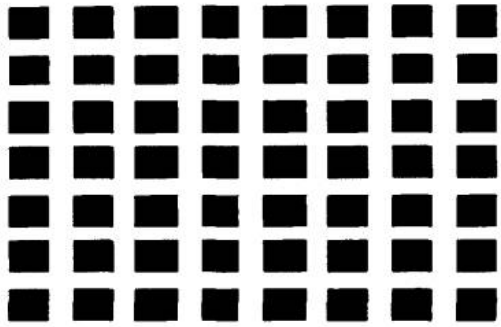


图3-65 在图标和文字描述两种设置下，对所有住房使用相同的住房陈列样式

我们已经讨论了两种隐喻式图标：在购买住房一例中，图标和对象有着直接的联系，而人脸图中的面部表情和地质属性之间没有直接联系。Siirtola（2005）发现用户更偏爱和数据相关的**字形**（glyph，即图标），使用这种描述获取到的信息精度将提高13%。直接的隐喻式图标有着广泛的应用（详情可参见参考文献（Miller and Stasko, 2001））。

6. 对象及属性可见性

现在我们回过头来看看在前面编码技术的讨论中提到过的可见性这一概念（Teoh and Ma, 2005）[⊖]。

我们认为对象可见性的实质是将每个对象描述为一个单独而一致的视觉单元（比如一个点）。当用户对对象在多个维数上的属性值以及对象间的差异感兴趣时，就需要用到对象可见性。支持对象可见性的例子有Chernoff脸、多维图标和星形图（图3-66）。由于静态平行坐标图中的对象被描述为一组由线段连接起来的点，很难找到某个特定对象的属性值或观察不同对象间的联系，因此在这里我们没有将其纳入支持对象可见性的技术范畴。

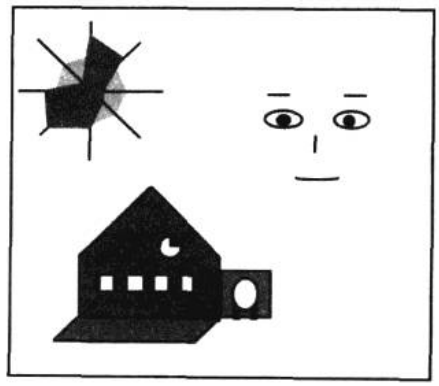


图3-66 支持对象可见性的多属性数据描述方法（见彩图） 69

我们对属性可见性（也叫维度可见性）的定义和对象可见性类似。在支持属性可见性的描述中，对象属性值的分布应该是清晰的。当用户期望看到多个对象在某个属性维度上的清晰分

⊖ 我们用“可见性”一词代替Teoh和Ma提出的“一致性”一词。

布时（例如当存在族群（cluster）时），系统应该支持属性可见性。属性浏览器以及平行坐标图（图3-67）支持属性可见性，而Chernoff脸、多维图标和星形图则不然。Teoh和Ma（2005）提出了对象关联性（object correlation）和属性（维数）关联性（attribute/dimension correlation）的概念。在平行坐标图中，相邻轴上的点通过线段连接起来，清晰地显示了它们之间的相对性或关联性，这是属性关联性的一个很好的体现。属性关联性还可以通过星形图等描述加以实现。

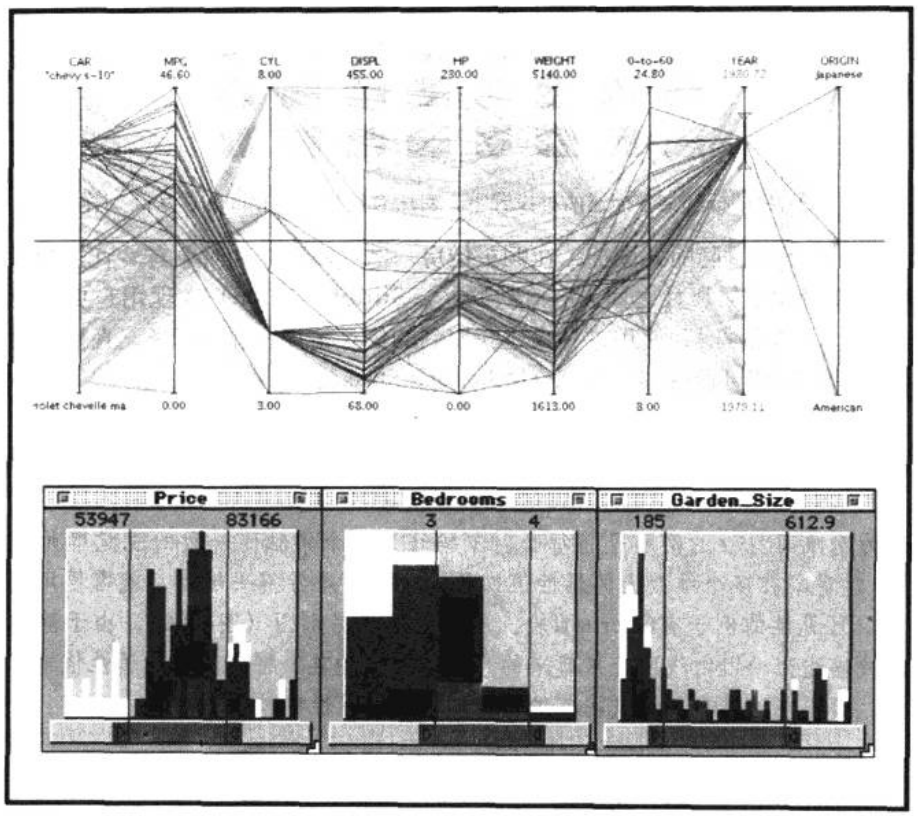


图3-67 支持属性可见性的多属性数据描述（见彩图）

70 虽然可见性和关联性是两个比较新的概念，相关研究也尚未完善，但它们的有用性是显而易见的，并且和前面讨论过的如何使事物凸显的技术相关。

3.2 关系编码

在前面的讨论中我们已经了解到了两种数据类型的存在：数值（value）和关系（relation）。我们已经讨论了对数值的各种编码方法，对于“关系”我们需要回答两个问题：“关系意味着什么？”以及“我们如何对关系进行编码？”。

关系的字典定义如下：

关系：两个或两个以上事物之间的逻辑或自然联系；互相之间的相关性；连接。

两个或两个以上事物之间的关系可以通过很多不同的方式进行描述。例如，可以利用（一条）简单的直线来表示John Smith和Mary Robinson之间的婚姻关系（图3-68），或者John向

Stingy银行借钱买了辆1930年产的宾利车（图3-69）。关系可以符合某个数学公式$y = f(x)$，从而表示为一个有向图（图3-70）。在第2章中我们已经讨论过，一辆汽车和它的价格之间的关系可以通过相同的颜色加以表现（图3-71）。 图3-72总结了公元550年～700年间在英格兰Anglo-Saxon地区发生的战事。（对我而言）这个描述比文字更有效，例如，它清晰地表明了西部Saxon人好战的本质（Arnold, 1997）以及Briton人在很长一段时间内被频繁侵略的事实。颜色和线条粗细为关系编码提供了更多的机会。

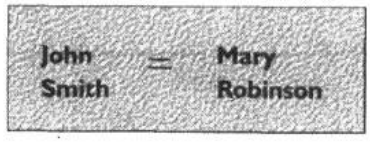


图3-68 一个简单的符号就可以表示婚姻关系

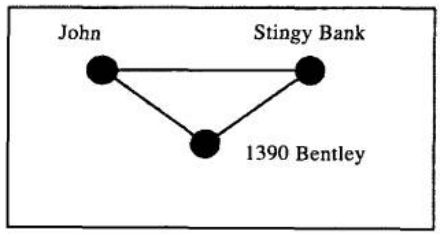


图3-69 用线段表示关系

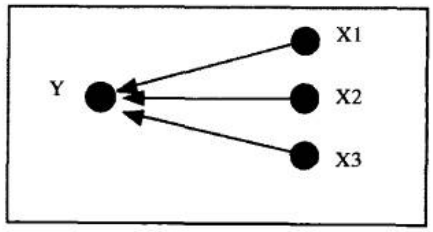


图3-70 箭头表明唯一的单边函数关系

71

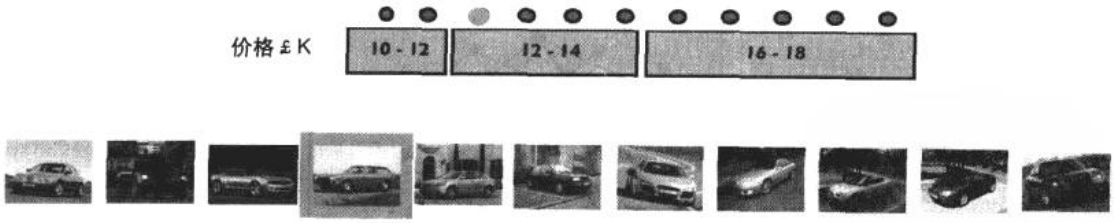


图3-71 用颜色表示关系（见彩图）

我们通过关系处理离散而非连续的属性：一辆汽车可以有很多个不同的价格，但一家旅馆要么拥有要么没有游泳池，为了购买一辆宾利车，我要么向A银行要么向B银行贷款；一桩诈骗案的嫌疑人要么在洛杉矶要么在其他城市受审。我们在这里谈到的都是二值属性。由于数值通常有多于两个的情况，因此毫无意外的，对关系进行编码将使用到和数值编码不同的技术。然而，最终使用何种技术进行关系编码，需要考虑的因素和数值编码一样：包括对任务的理解、

需要从中提取的信息启示，以及针对关系的可能需要回答的问题。

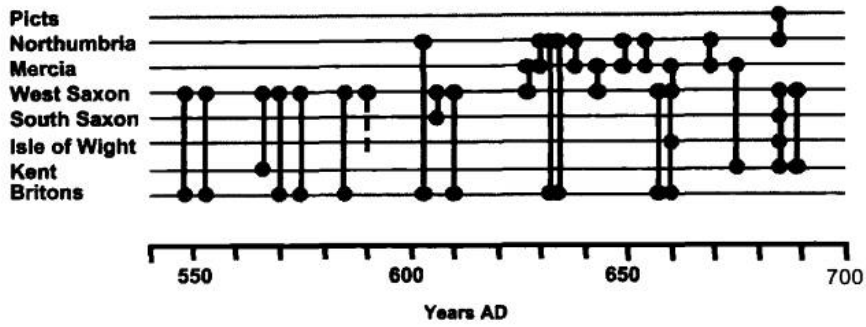


图3-72 公元550年～700年间在英格兰Anglo-Saxon地区发生的战事。红色表示侵略者，绿色表示被侵略者。图片来源：After Arnold (1997)（见彩图）

我们首先介绍一些简单但非常有效的关系编码方法以及可以从中获取的信息启示。正如上面的定义所强调的，关系存在于两个或多个事物中，因此要想描述关系，首先必须对有关系的这些事物进行描述。“事物描述”和“关系描述”二者必须综合考虑。

3.2.1 线段

对两个事物关系的最简单的描述恐怕就是在这两个事物的描述体间加上一条线段。即使只是用简单的结点连接图（图3-73b）也能使对一段很短的电话记录（图3-73a）的理解变得容易。特别当不相关的子集分别独立显示（图3-73c）时，数据的可读性大大地提高了。结点连接图对于第1章中提到的抵押诈骗案的调查非常有效。大量房屋购买交易涉及借贷方、法律顾问、检察员等多种角色之间复杂的关系。在图3-74a所示的描述中，每个有关个体或机构被描述为环面上的一个片段（图3-74b）。内圆中的模式本身并不能提供太多有用的信息，但如果通过阈值限制将正常的房屋购买交易滤掉，则该描述（图3-75）可以为调查者提供证据，从而帮助锁定参与诈骗的嫌疑人（Davidson, 1993; Westphal and Blaxton, 1998）。

72

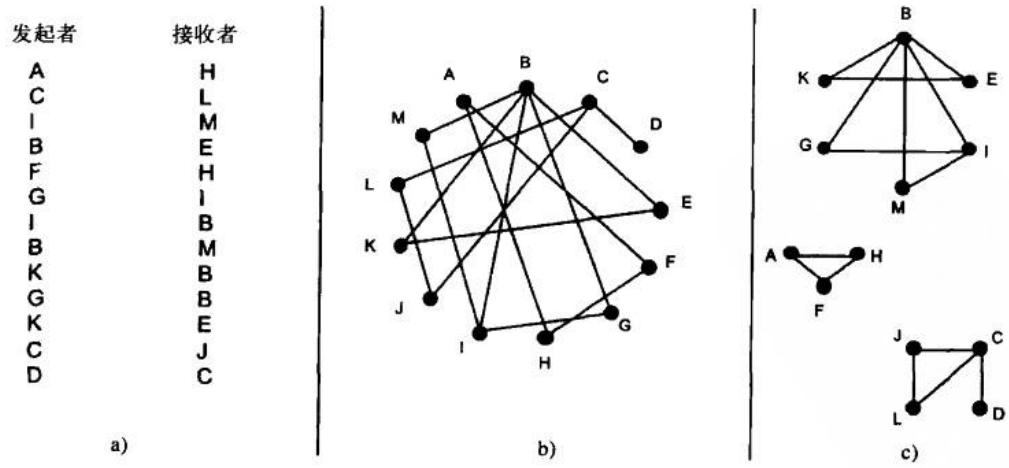
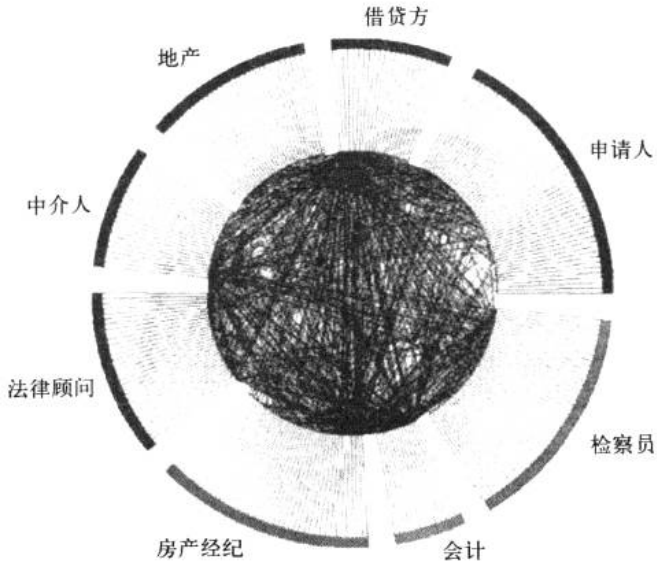
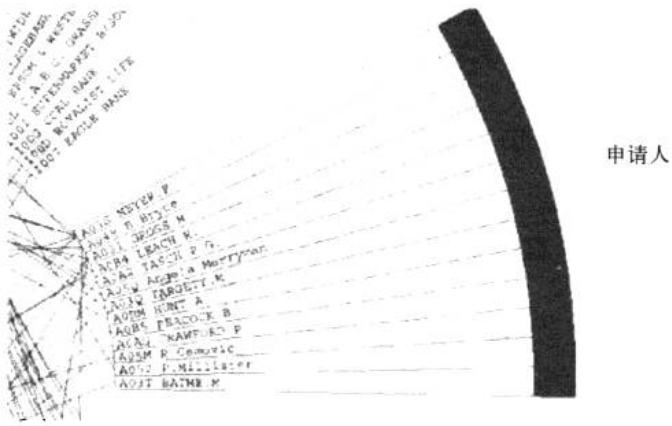


图3-73 结点连接图（图3-73b）有助于从一段很短的电话记录（图3-73a）中获取信息启示。特别当不相关的子集分别独立显示（图3-73c）时，数据的可读性大大地提高了



a) 抵押贷款活动的描述。借贷方、房屋属性、购买者等多个角色被描述为环面上的一个片段（见图3-74b）。它们之间的关系用线段标明

73



b) 申请人表示为图3-74a所示的贷款活动描述中的放射状片段

图3-74 对抵押贷款活动的描述（见彩图）

在过去的二十年间对人、事物和机构间的关系描述的价值已得到充分的重视，已经出现了很多强大的可视化工具用以支持智能分析领域中的各种任务。Analyst's Notebook（i2, 2006）是个很好的例子，它被广泛应用于法律强制执行和法庭调查。这类可视化软件允许在复杂环境下以视觉的方式对数据的查询、对看似不相关数据的分析，以及可执行智能的通信等。有些调查分析的首要兴趣是人、社交网络、地点和属性之间的关系，在这种情况下可以使用如图3-76所示的“联系”图。如果侧重于对事件的时间性分析并想从中获取一般联系图中难以发现的可能的时间巧合，则可使用图3-77所示的“时间线”图表。

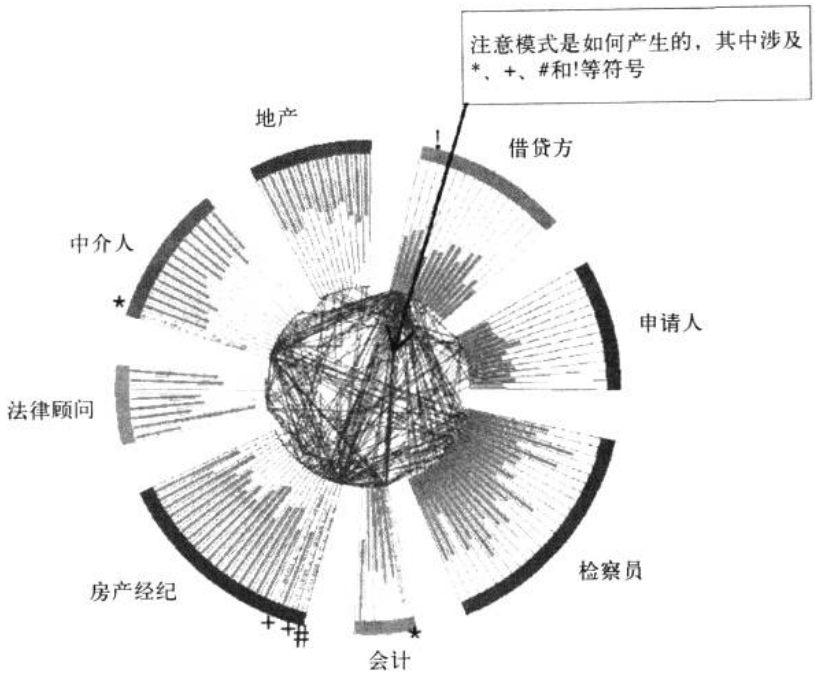


图3-75 在图3-74所示的描述中加上阈值限制将正常的房屋购买行为滤掉。不正常的购买行为通过连接的线段得到凸显（见彩图）

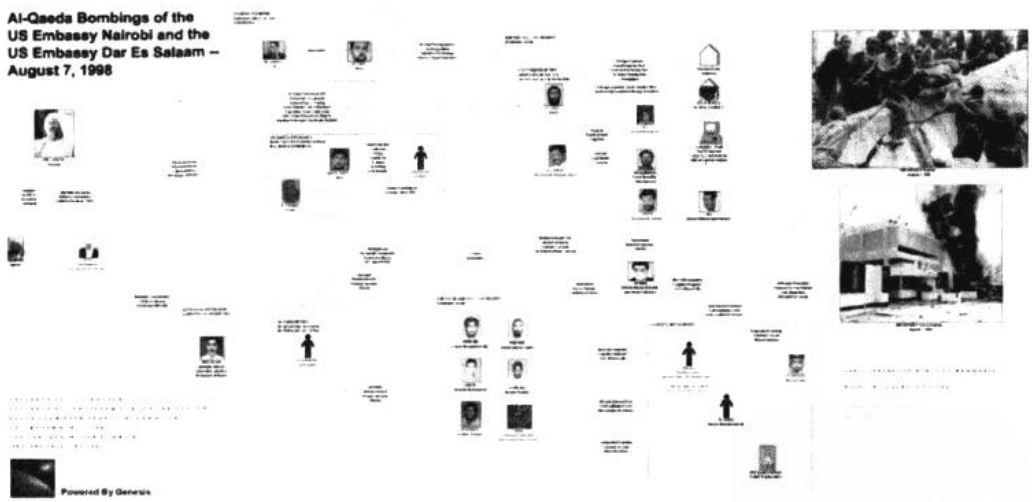


图3-76 描绘非洲爆炸案的关系图表（图片感谢i2 Ltd.惠允）

伦敦地铁示意图可能是大家最熟悉的用线条描述关系的实例（图3-78），它反映了在关系定义中提到的“相关性”。这种描述方法非常有效，现在世界上所有的交通机构几乎都使用了这种描述方法（Ovenden, 2003）。毫无疑问，这种描述受益于连接各站点的线段所形成的形状（Harry Beck实际上可能受到了电路设计图的影响）、用颜色表示的不同路线，以及用符号标明的普通和中转站点（Garland, 1994）。很多时候用背景色来表示不同区间的交通资费标准。这种地图描述法的另一个优势在于其表达的地理信息（虽然不需要非常精确）：即使站台间的距离和实际地理距离没有精确对应也不会产生太大问题，但如果将位于伦敦北部的、因足球而出

名的Wembley放在地图下方，或者将位于伦敦南部的、因网球而出名的Wimbledon放在地图上方，都将显著降低地图的价值。虽然没有找到相关的可用性测试，但当前地图第一眼看上去会比Harry Beck地图之前的设计（图3-79）更容易理解。

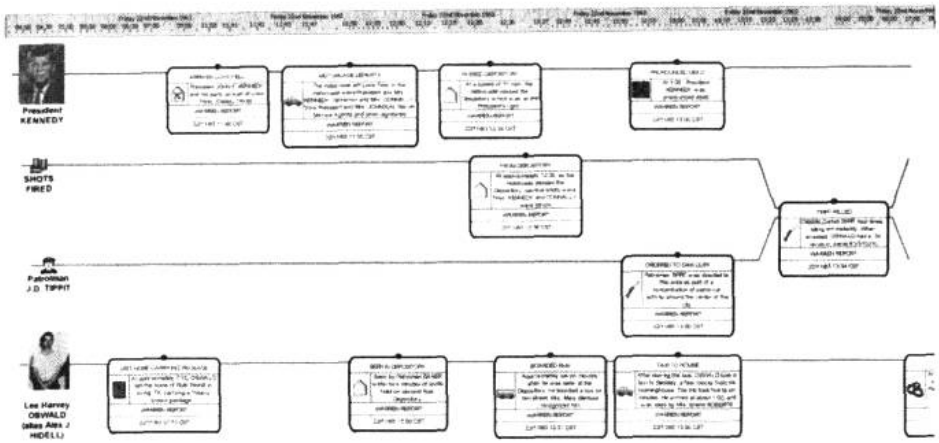


图3-77 时间线图表描绘了肯尼迪遇刺案（图片感谢i2 Ltd.惠允）

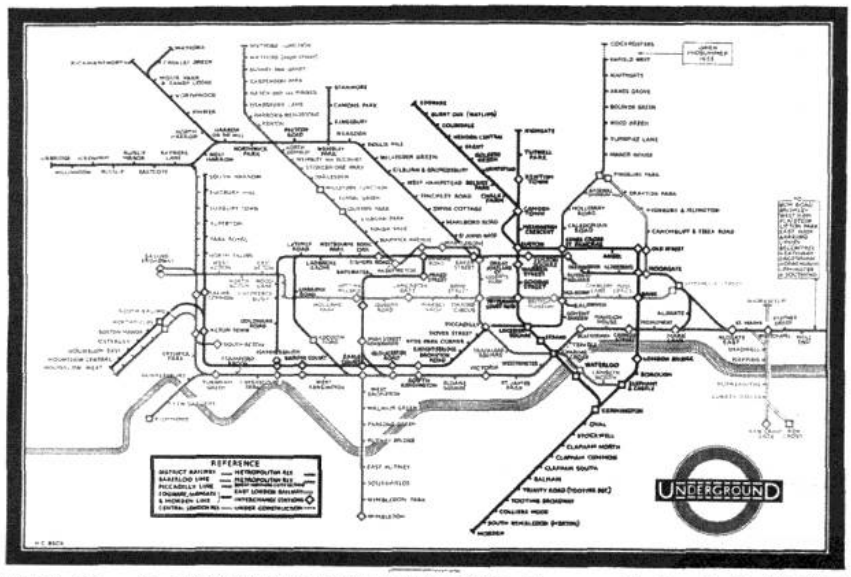


图3-78 Harry Beck的伦敦地铁原始图（图片来源：Transport for London）（见彩图）

*关系*一词通常意味着用户之间的交互。我们对族谱树应该是很熟悉的，树中的关系通过婚姻、小孩的出生或死亡等已有事件得以建立。简单线段的使用可以推广到对Freeman（2000，2005）所定义的“社会动物的社会性本质的结果”的描述。对社交网络的分析主要关注连接社会参与者的结构性模式。我们主要对两类模式感兴趣：1）揭示不同社会群体的模式；2）揭示个人社会地位或角色的模式。

对社交网络的描述并非一个很新的课题：Moreno（1934）早在70年前就提出了社交网络的概念：图3-80显示了一个学校中四年级学生的社交选择结果。图中清晰地显示了他们倾向于选择同性朋友的趋势（如果现在再对这个相同课题做一次调查，也许会得到有趣的结果！）。

Freeman的同事Marbella Canales（2005）对一家商场的化妆品部门职员的娱乐社交联系做了调查，发现了职员间或多或少的线性关联（图3-81a），这种关系很明显并非随机产生的，而是遵循一定规律（Freeman, 2005）。为了进一步揭示这种规律，她根据每个个体的特点，如性别、宗教信仰、婚姻状态等可能影响社会娱乐伙伴选择的因素，对图中的结点分别进行着色。多数时候着色结果是不可用的，例如图3-81b用婚姻状态对结点着色：已婚人士用黄色表示，单身人士用红色表示。由于红色和黄色分散在整个图中，很明显地说明了社会娱乐伙伴的选择不是由婚姻状态所决定的。当研究者依据年龄进行着色时，一幅与众不同的图出现了（图3-81c）：蓝色表示年龄低于30岁的雇员，黄色表示年龄在30～40岁的雇员，红色表示年龄大于40岁的雇员。结点间的关联性说明雇员倾向于选择年龄相近的同事作为社会娱乐伙伴。

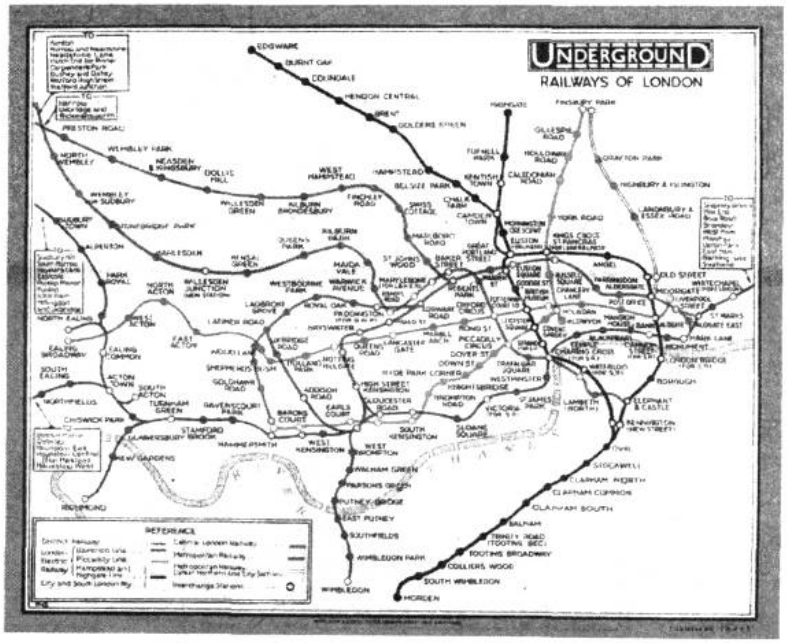


图3-79 出现于Harry Beck版之前的伦敦地铁地图（图片来源：Transport for London）（见彩图）

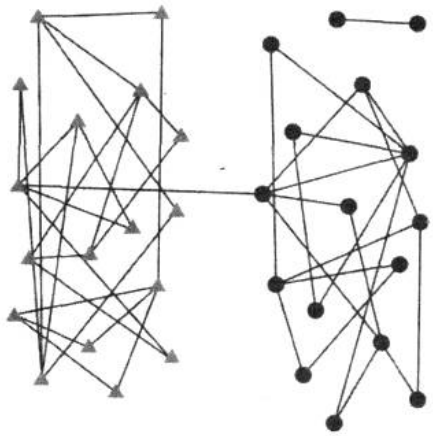
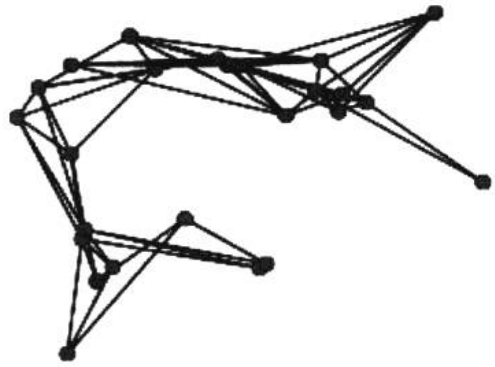
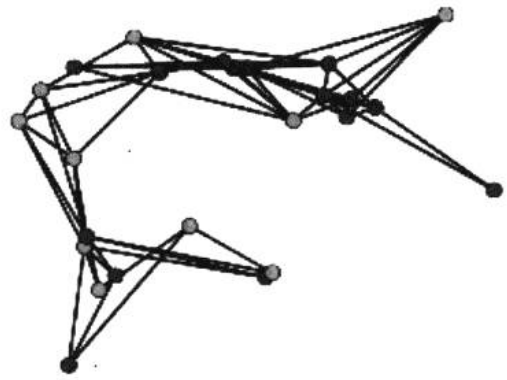


图3-80 四年级学生的社交选择示意图（Moreno, 1934）

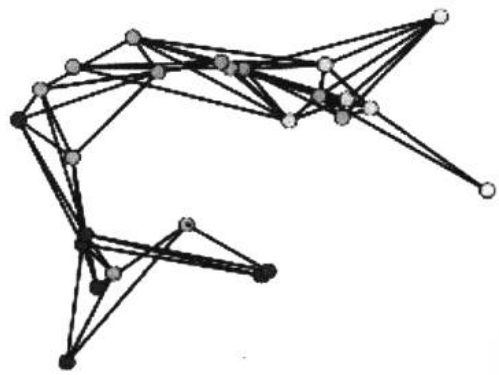


a) 部门雇员的社会选择。(图片来源：感谢L. C. Freeman惠允)



b) 部门雇员的社会选择，颜色编码表示婚姻状态。(图片来源：感谢L. C. Freeman惠允)

74
~
78



c) 部门雇员的社会选择，颜色编码表示不同的年龄段
(蓝色<30，30<黄色<40，红色>40)。(图片来源：感谢L. C. Freeman惠允)

图3-81 部门雇员的社会选择（见彩图）

3.2.2 图和图表

1. 维恩图

关系的定义特别指出它反映了“逻辑联系”。表3-2显示了非常简单的逻辑关系，例如B酒店有游泳池和高尔夫球场，但是没有餐厅。在一张大得多的表格中寻找满足条件的酒店是非常耗时的，但如果在维恩图（Venn diagram）里来做这个操作就会简单很多。图3-82是和表3-2对

应的维恩图。图3-83是一个大得多的包含24家酒店的维恩图，它也许可以帮助旅行者快速地找到符合需求的酒店。例如，如果客户要求酒店配备所有的设施（游泳池+高尔夫球场+餐厅），则有4家酒店可供选择。在维恩图中加入交互是很有用的。

表3-2 8家酒店提供的各项设施

		游泳池	高尔夫球场	餐厅
酒店	A	●	●	●
	B	●	●	
	C	●		●
	D	●		
	E		●	●
	F		●	
	G			●

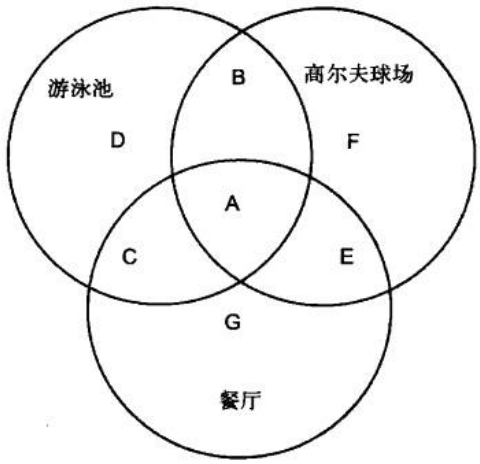


图3-82 和表3-2对应的维恩图

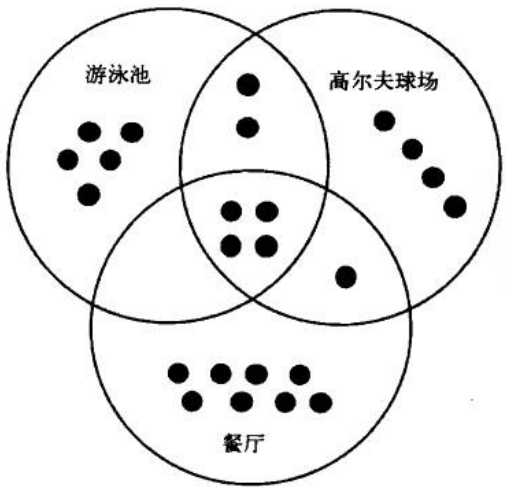


图3-83 包括24家酒店设施的维恩图

2. 信息水晶图

Spoerri（1993）提出了一种对维恩图的改进方法以加强对逻辑关系的描述。图3-84显示了从一个包含三个属性的维恩图到信息水晶图（InfoCrystal）的转换过程。三个属性间所有可能的逻辑关系都表示为信息水晶图中的面积。图3-84使用了同图3-58中属性浏览器类似的住房颜色编码，例如星号表示满足价格和花园面积要求但不满足房间数条件的住房，它也可以作为一种选择方式（例如视觉查询）。Spoerri还在图3-84所示的描述中加入了一些内部图标（图3-85）。这些图标的形状表示了满足的条件数（圆=1，矩形=2，三角形=3），图标内的数字表示符合对应条件的酒店数。因此对于图3-83所描述的24家酒店，其中有4家满足所有条件，有高尔夫球场和餐厅但没有游泳池的只有一家。Spoerri的信息水晶图可以扩展到多于三个属性的情况。但是多于四个属性的信息水晶图描述可能只有专业用户才能胜任理解和查询等任务。

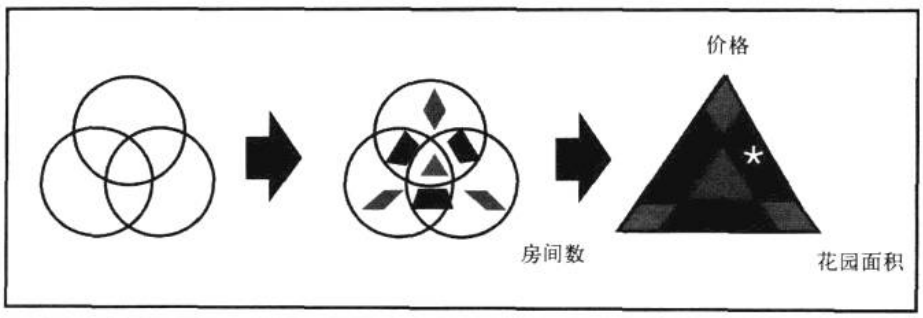


图3-84 从一个包含三个属性的维恩图到信息水晶图的转换过程。图中所示的信息水晶图允许关于价格、花园面积和房间数的视觉查询（见图3-58显示的属性浏览器）。星号表示满足价格和花园面积要求但不满足房间数条件的住房（见彩图）

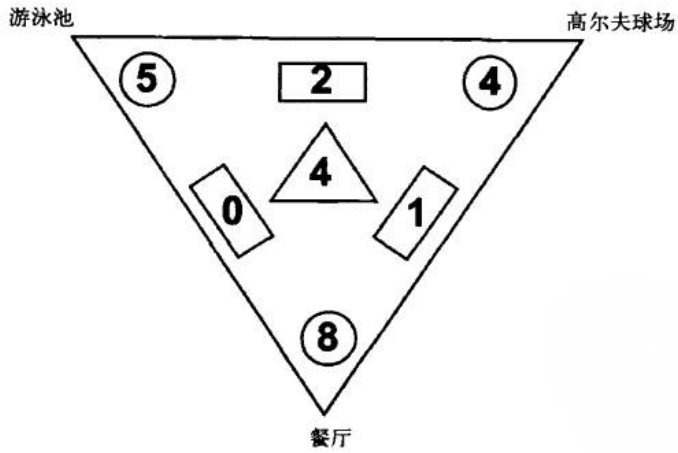


图3-85 对图3-83所示的酒店数据的信息水晶图描述

3. 族群图

图3-86是和图3-83所示的维恩图以及图3-85所示的信息水晶图内容一致的族群图（cluster map, Fluit *et al.*, 2003）。三个带标签的结点分别表示三个属性，后面的数字表示符合该属性条件（如有餐厅）的酒店数。注意，由于存在满足多个条件的酒店，因此三个标签内的数字的总和不等于酒店总数24，例如同时拥有餐厅和游泳池的酒店会为“游泳池”和“休息”标签各贡

献1分。每个标签和一个或多个圆相连，圆内的黄色球代表酒店。根据每个酒店满足的条件，它们被放置到不同的圆内。例如，E酒店只拥有餐厅，因此被放入只和“餐厅”标签相连的圆内。B酒店有且仅有游泳池和高尔夫球场，因此被放到和“游泳池”、“高尔夫球场”标签同时相连的圆内。从图3-86的族群图中可以清晰地看到不存在有游泳池和餐厅但没有高尔夫球场的酒店。通过鼠标悬停可以查看每个酒店的详细信息。

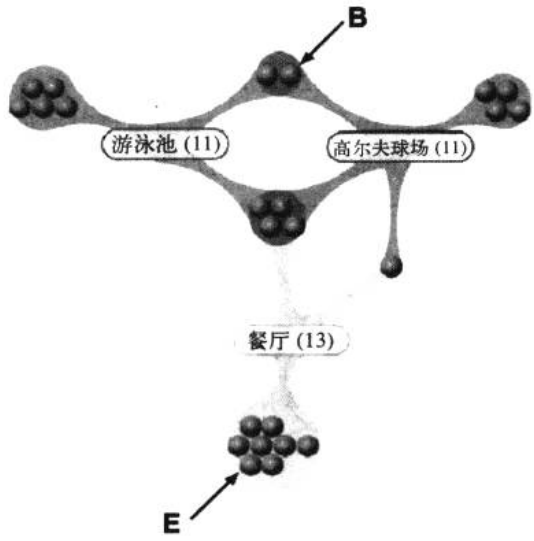


图3-86 和图3-83所示的维恩图以及图3-85所示的信息水晶图内容一致的族群图（图片感谢Christiaan Fluit, Aduna惠允）（见彩图）

描述逻辑数据的可视化技术的测试标准主要是看它对多属性的扩展性。图3-87显示了族群图在这个方面的能力：图中共显示了拥有4个属性的24家酒店。图中不存在只和“健身房”标签相连的圆，说明所有有健身房的酒店都至少有其他三种设施中的一种。族群图支持各种交互，如高显和某个标签相连的圆，以及用动画来描述增加一个新类别后族群图的变化（Fluit *et al.*, 2003）。

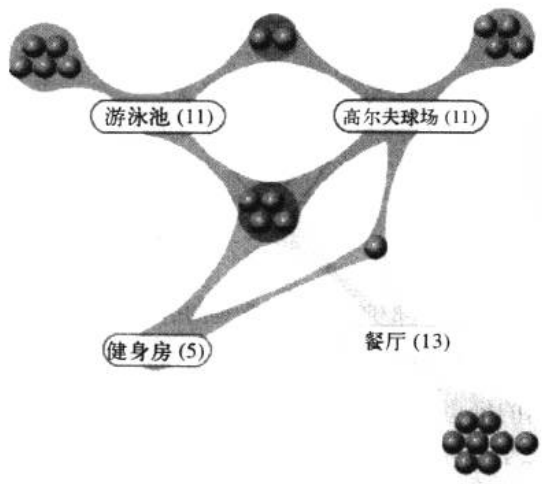


图3-87 显示有4个属性的24家酒店的族群图（图片感谢Christiaan Fluit, Aduna惠允）（见彩图）

3.2.3 树的描述

81~83

以上讨论的所有例子中均没有严格限制相连的事物。“网络”一词经常用于描述结点-联系类型的关系，对拓扑结构没有严格的限制，例如图3-73描述的简单网络以及图3-74所示的复杂得多的抵押贷款数据。有些网络图中应用了拓扑限制，由此产生了一类新的网络描述方法：**树**。

树的数学定义是由结点和结点间联系组成的不含回路的网络。换句话说，如果没有回溯操作，从树中某个结点出发的路径不能回到该结点。由于树描述了等级关系，因此该描述方法具有广泛的应用价值。我们通过图3-88所示的简单的树来介绍相关术语。树中某个结点被指定为根结点。我们在这里之所以使用“指定”一词是因为树中的任何一个结点都可以被设定为根结点。在实际应用中，树通常表示等级关系，其中的根结点表示公司或由多条产品生产线组成的部门负责人。如果等级结构存在，则除根结点外，其余结点都有一个前驱结点，这些结点叫前驱结点的“孩子”。没有后继结点的结点叫“叶子结点”。

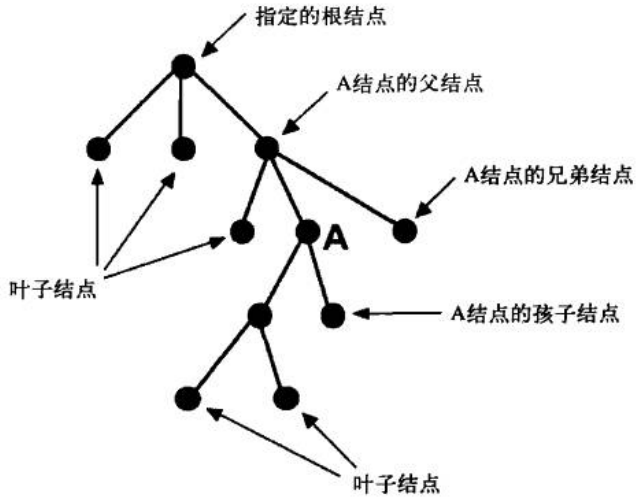


图3-88 树的示意图

如果数据是树结构的，则我们会马上想到如何对该数据做有用的描述和探查。图3-88所示的描述有问题吗？如果不存在问题的话，那我们也不必进行下面的讨论了。

84

1. 锥形树

图3-88所示的树描述存在一个问题：实际应用中树可能有很多层。即使度（和某个结点相连的孩子结点的数目）只有3，表示一棵树所需的空间特别是水平方向上的空间可能还是会很大。一种解决方法是对原始的树（图3-89a）进行三维重排，将具有相同父结点的所有结点放在一个水平圆上。这个圆和父结点一起共同形成了一个锥形（如图3-89b所示）。对该结构的二维视图叫做锥形树（cone tree, Robertson *et al.*, 1991），它比图3-89a中的原始描述更为紧凑。锥形图中可能存在的位置冲突是比较容易处理的。用户可能想看到锥形图中某个雇员在公司中的报告路径，这可能涉及对该树做旋转，将该职员的名字和对应的报告路径显示在视图的正面。锥形图在水平方向上的定位叫凸轮树（cam tree），这种描述更有利于显示结点名字（图3-90）。目前还没有对锥形树可用性的测试报告。

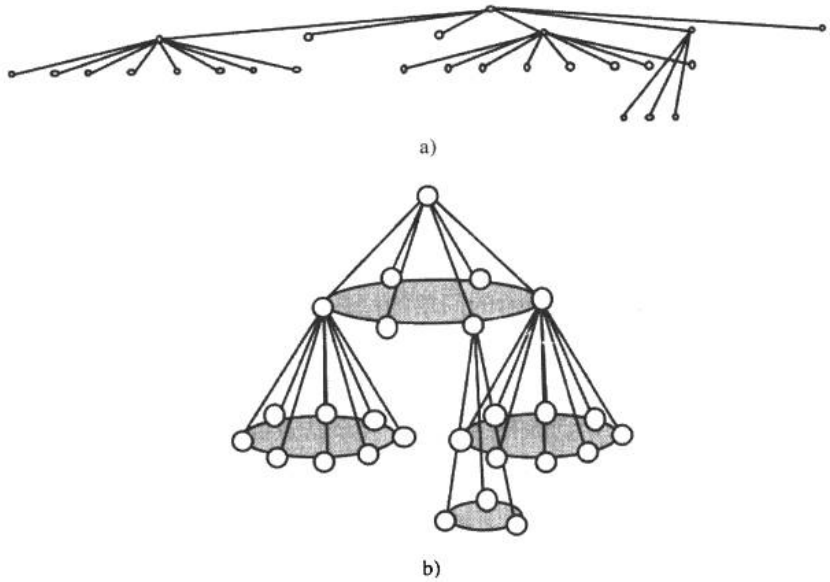


图3-89 a）树；b）对应的锥形图

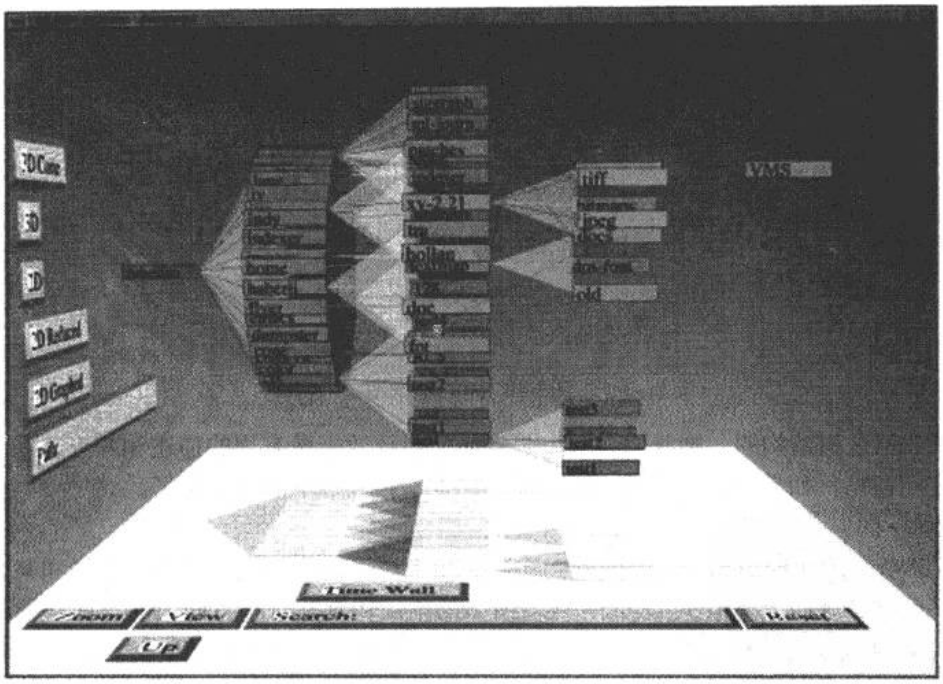


图3-90 对锥形图做重排有利于结点标签的显示

2. 树图

树图（tree maps, John and Shneiderman, 1991）是树的另一种描述方式。从图3-91中可以清晰地看到从树到树图的演变过程是直接的。首先从指定的根结点开始，画一个经过根结点的矩形框。为了充分利用显示区域，矩形框通常会尽量画得大一些。在这个矩形框内有很多小矩形，分别表示从属于根结点的孩子结点。用这种方法遍历树中所有的结点，直至为每个结点都

创建一个对应的矩形。除显示器分辨率外，该描述法没有对树的深度做限制，也不要求所有叶子结点位于同一层或每个结点拥有相同的度。创建好树图之后，可以使用颜色编码来区分树的不同部分。

图3-91显示了树图创建过程中的一个主要问题：生成的树图中可能含有大量非常狭窄的矩形，在其中显示文字是很困难的。这个问题比较好解决，可以利用图3-92所示的“切片和骰子”(slice-and-dice) 法：相邻两层结点所对应的矩形框分别水平和垂直地交错放置。图3-93显示了用该方法描述的一位作家的作品集。从图中可以看到，树图的优点是凸显了叶子结点，缺点是不容易看出层次关系。

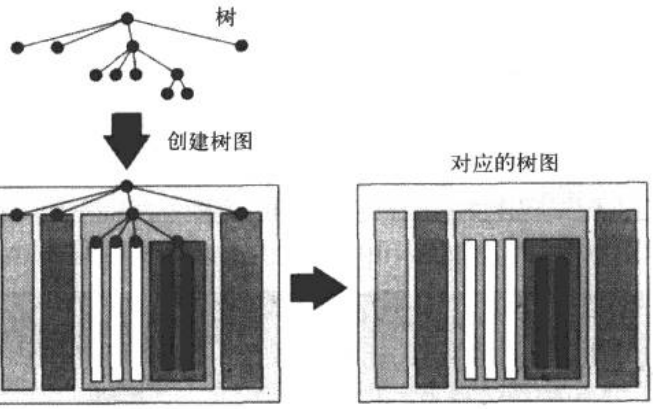


图3-91 树图的创建过程

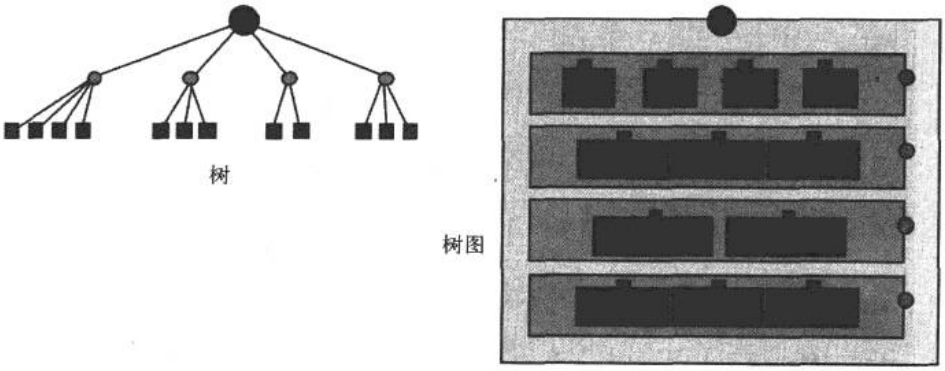


图3-92 树图的“切片和骰子”创建过程。该方法凸显了叶子结点，更适合于文字和图片的显示

树图有着非常广泛的应用。在图3-94所示的Smartmoney.com网站上，主要的工业行业如能源、医疗等显示为矩形，矩形内部的各方块代表相关企业。可以大量使用颜色编码和面积编码，也可以使用鼠标悬停等交互技术，或者通过鼠标点击查看细节信息。还可以引入第4章中将要介绍的变形和抑制技术。图3-95显示如何通过改变属性范围来控制树图视图的变化，同时也再一次显示了结合各种技术的可能（Csallner *et al.*, 2003）。

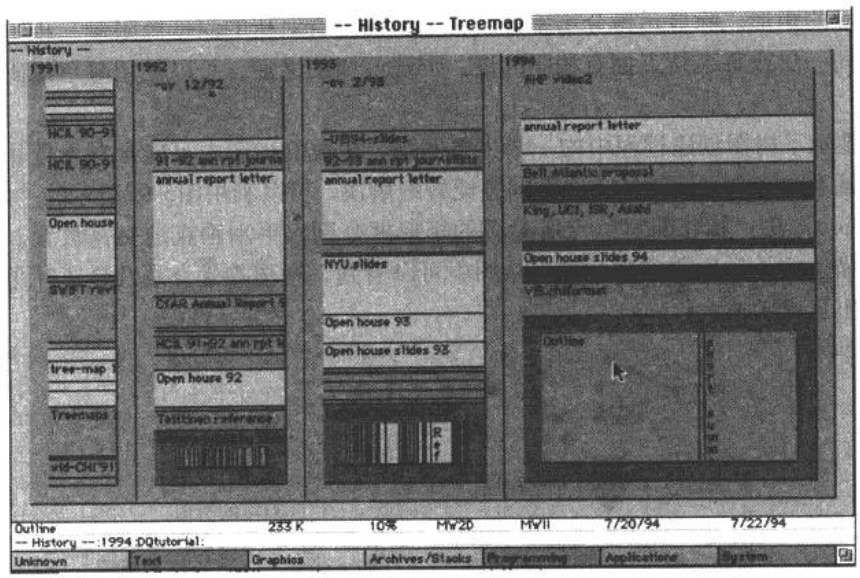


图3-93 对一位作家的作品集的树图描述（图片感谢Ben Shneiderman惠允）（见彩图）

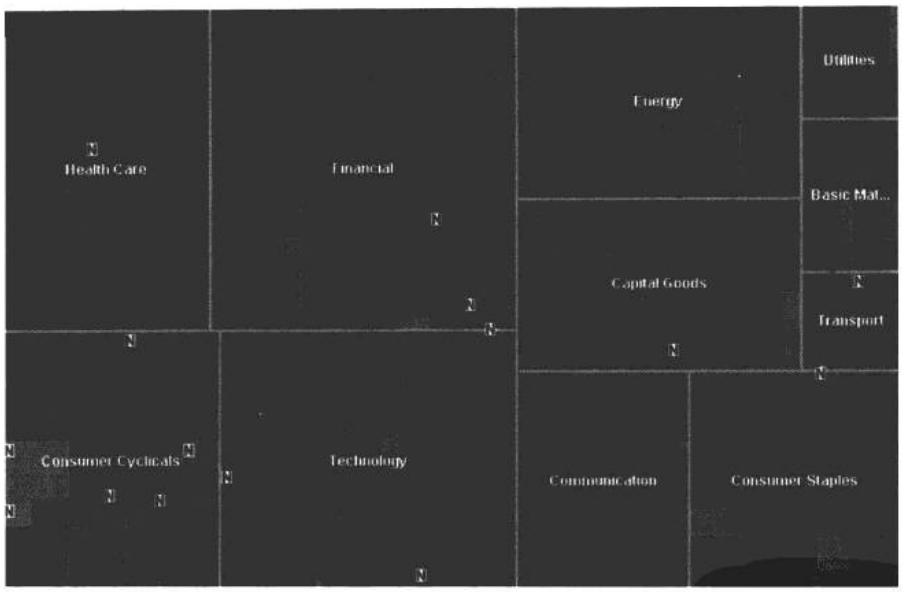


图3-94 Smartmoney.com网站显示了各行业中相关企业的状态（见彩图）

3. 双曲线浏览器

1994年出现了一种新颖的树的描述方法，该方法可以将整棵树显示在传统显示器上的某个规定大小的圆内。我们这里不讨论该方法所涉及的复杂的数学原理（Lamping *et al.*, 1995; Lamping and Rao, 1994, 1996）。如图3-96所示，利用双曲线几何变换，该方法可以保证树的所有结点都被放置于一个特定区域内。指定的根结点初始时位于区域中心，它的直接后继结点以一个特定距离显示在它周围。随着层次的增加，结点距离根结点的位置变远，结点和父结点间的距离缩小，结点变小，这样才可以保证所有结点都显示在一个特定区域内。一次所能显示的结点数目取决于显示器的分辨率：当分辨率低于一个像素时停止树的绘制。

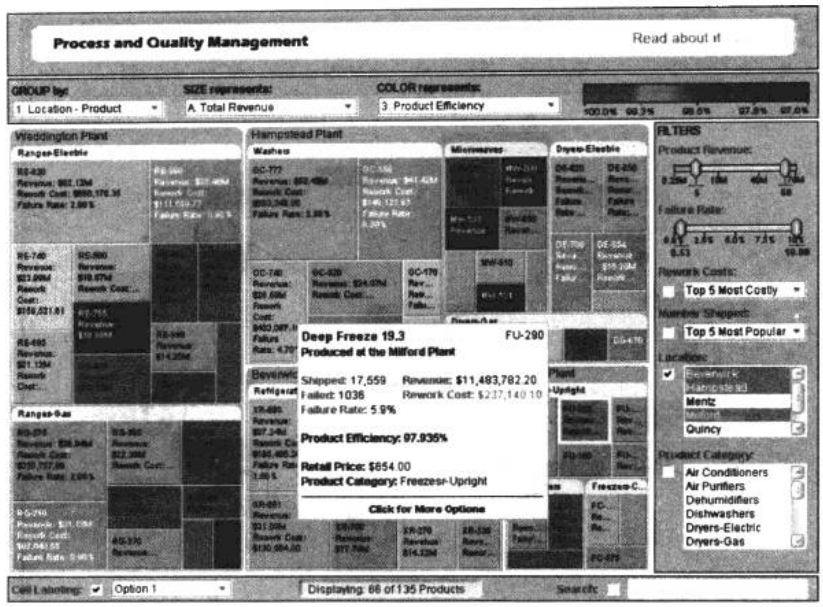


图3-95 显示经济信息的树图，允许对属性进行过滤（图片经HIVE惠允）（见彩图）

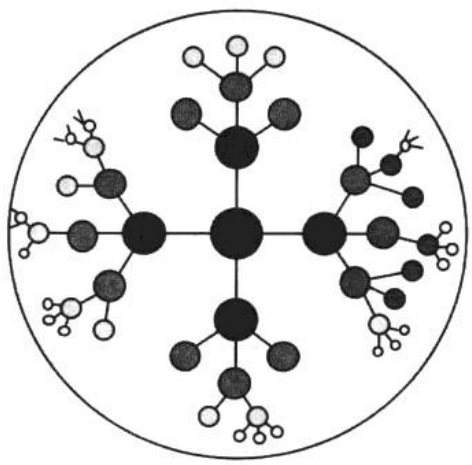
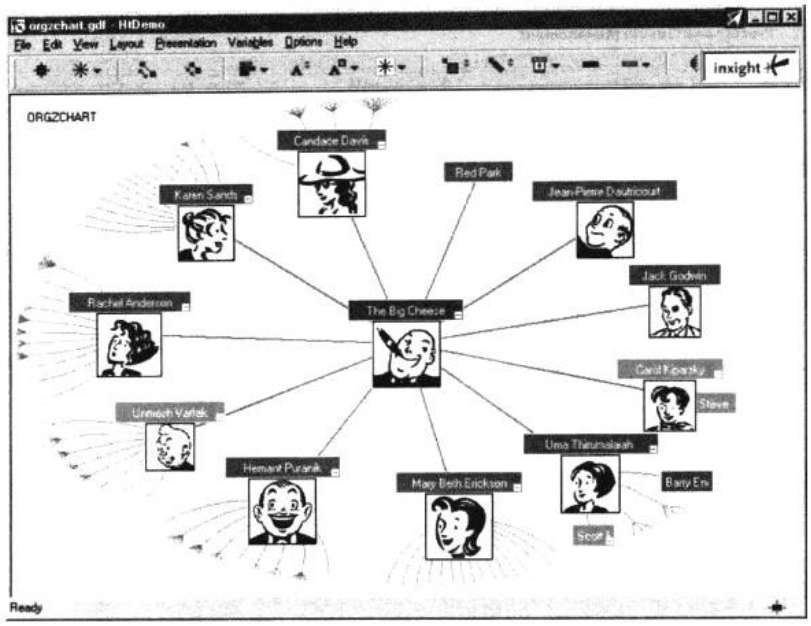


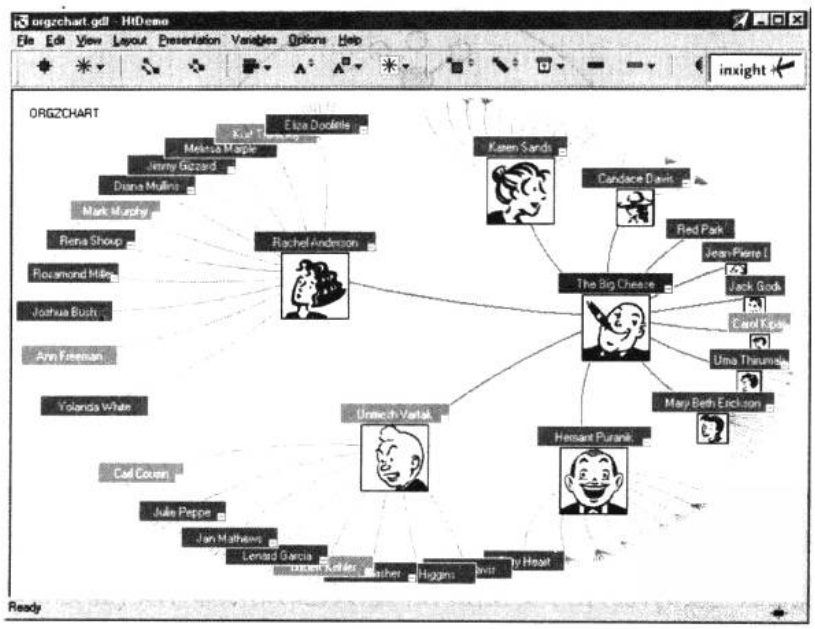
图3-96 树的双曲线浏览器描述。结点距离根结点越远，它和其父结点的距离越近，所占用的空间也越小

双曲线浏览器最主要的优势在于交互性。任何感兴趣的结点都可以平滑地移动到中心区域，同时它的后继结点也向相同的方向移动。通过可用区域内树的这种平滑移动可以比较容易地查看感兴趣区域。图3-97a显示一个虚构部门雇员的双曲线浏览器：Rachel Anderson朝中心点的平滑移动使得她的上司结点往外移动，同时凸显了直接向她汇报的员工（图3-97b）。同样的，Eliza Doolittle朝中心点的平滑移动也可以凸显直接向她汇报的员工信息。同锥形图类似（但不同于树图），双曲线浏览器清晰地显示了层次结构。和树图不同的是，除非将叶子结点拖向中心，否则叶子结点在双曲线浏览器中的显示不明显。图3-98显示了双曲线浏览器在美国国会图书馆里的应用。

85
~
89



a)



b)

图3-97　a）一家公司的员工汇报结构；b）当前感兴趣的员工Rachel Anderson向中心移动，使得她的下属得到凸显

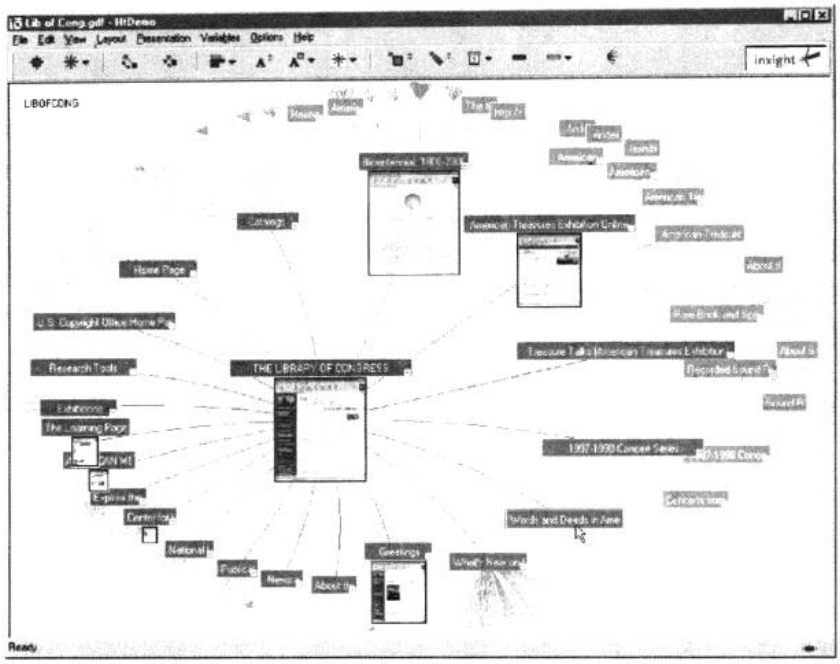


图3-98 双曲线浏览器在美国国会图书馆里的应用

3.3 设计支持

即使是设计最简单的可视化工具也需要创造力。如同传统的画家有颜料一样，交互设计师也有一系列调色板。例如图3-99a所示的调色板上显示了丰富的用于对数值和关系进行编码的可用技术，每种技术有各自的优缺点。图3-99b显示了为特定应用选择合适的描述方法时需要考虑的各种因素。

有效的交互式设计还需要另外两个调色板。一个是第4章将详细讨论的*数据显示*，它主要关注如何在有限的空间和时间内将已有描述呈现出来。另一个调色板是第5章中将会介绍的*交互*。交互设计师可以自由地选择所需概念和技术，结合数据描述和数据显示提高信息可视化的效果。

90 ~ 91

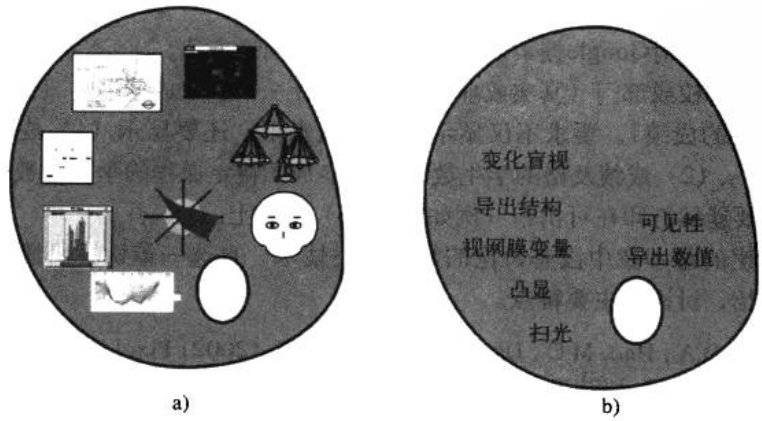


图3-99 可供交互设计师选用的“调色板”：a）技术；b）概念（见彩图）

92

习题

建议通过课堂讨论的形式来加深对以下习题的理解。

3.1 （复习题）列出所有你能回忆起的数据的视觉编码方法，并写出各自适合的实用环境。讨论它们的静态形式（即无交互的状态下）是否支持对象/属性可视化以及相关性。

3.2 五位学生参加了8科考试，每科成绩为10以内的数字。列出至少10个以下不同角色会对成绩表提出的问题：(a) 学生、(b) 家长、(c) 学科老师、(d) 年级主任。将这些问题钉在题板上作为习题3.3的参考。

3.3 习题3.2中提到的学生成绩如下表所示。

5位学生（A, B, C, D, E）的8科成绩，成绩最高分为10分：

艺术	10	1	5	3	2
科学	1	10	5	4	8
历史	8	5	7	1	1
运动	2	9	5	10	4
物理	—	1	2	3	1
英语	2	8	6	8	5
化学	4	1	1	1	4
数学	10	1	5	4	2
	A	B	C	D	E

93

不考虑计算机技术及任何交互功能，给出该数据集的一个静态描述。检查它是否能够帮助回答习题3.2中提出的问题。

对于习题3.2中答案不容易找到的问题，检查你能否对提出的描述做改进（仍然不考虑交互）。

3.4 为表3-1所示的泰坦尼克号事件生成一个镶嵌图，注意使用不同步骤（例如，是否存活→性别→舱位等级→成年人/儿童）。列出能从这些描述中提取出的信息。它们是否和图3-58所示的描述结果一致？

3.5 伦敦地铁地图没有包含任何距离或旅行时间信息。借用草图的方法来思考如何将这些信息以及其他可能纳入的信息加入到描述中。

3.6 Florene Nightingale的“玫瑰图”初看和星形图很类似。分析它们的区别，以及星形图的封闭区域能显示及不能显示的信息。

3.7 通过草图设计对Google搜索返回的命中信息的描述方法。

3.8 为你所在学校或部门（真实或虚构均可）设计一个学术成绩描述（例如五年级学生的12门学科的成绩）。要求不仅显示普通成绩水平，还要显示（1）成绩的变化（如一阶导数）；（2）成绩及格的学生数；（3）参加了特定课程的学生人数。注意最后给出的描述要能够打印在可携带（例如A4大小）卡片上。

94

3.9 以下列出的是本章中没有讨论的数据描述技术，自选一篇认真研读，准备一个10分钟的介绍，讨论其主要特点。

(1) Keim, D.A., Hao, M.C., Dayal, U. and Hsu, M. (2002) Pixel bar charts: a visualization technique for very large multi-attribute data sets, Information Visualization, 1, 1, pp. 20–34.

(2) Havre, S., Hetzler, E., Perrine, K., Jurrus, E. and Miller, N. (2001)

Interactive visualization of multiple query results, IEEE, Proceedings Information Visualization, pp. 105–112.

(3) Yang, J., Ward, M.O. and Rundensteiner, E.A. (2002) InterRing: an interactive tool for visually navigating and manipulating hierarchical structures, IEEE, Proceedings Information Visualization, pp. 77–84.

(4) Havre, S., Hetzler, B. and Nowell, L. (2000) Theme river: visualizing theme changes over time, IEEE, Proceedings Information Visualization 2000, pp. 145–154.

(5) Geons, as described in Colin Ware's book *Information Visualization: Perception for Design* (2004).

3.10 设计对人际关系（包括婚姻状态、出生日期、死亡等信息）的静态（非交互）描述。用实际数据加以测试，分析其优缺点。

3.11 汽车、地铁和火车线路通常被表示为用线段相连的结点。然而，在一些大城市（如伦敦）里，由于线路众多，尤其当涉及中转线路时，计划一次旅行并不是件容易的事。考虑如何在结点连接图中加入指示性标识，以方便线路的选择。

3.12 在你的电脑上任意选择一个至少有两层的文件夹，为其画出对应的树图描述。 95

3.13 在你的电脑上任意选择一个至少有两层的文件夹，为其画出对应的双曲线浏览器描述。讨论此描述在寻找叶子结点时的优缺点。

3.14 为一家商店、一个部门、多本书籍、菜谱或照片画出对应的三层树结构描述。根据结构建立一个树图。注意讨论遇到的种种困难。 96

第4章

Information Visualization: Design for Interaction, 2E

数据表示

问题

很多人都遇到过这样一个问题：在截止日期前必须完成一份报告，直接导致的结果就是（图4-1）餐厅里可坐12个人的大饭桌上堆满了成堆的报告、书籍、简报甚至旧文档，地板和椅子可能也用来堆放文件。有些文件甚至堆放在其他文件之上。这种对重要信息的表示是有道理的：相关的东西都放在手边（希望如此），这些东西的可见性起到了提示作用（Bolt, 1984; Malone, 1983），它们的空间位置（Czerwinski *et al.*, 1999）提示我们某样东西所放的地方。正是由于这样的视图，我们才可以获得灵感。在这样的环境中我们可以将精力集中于创造性工作而不是文件整理上。



图4-1 准备报告：各种来源的文件随处可见并随手可得

尽管有高分辨率的显示器和功能强大的工作站，我依然用这样的方式来完成大多数的报告。为什么？不是因为任何Luddite趋势，而是由于典型的工作站所提供的显示区域实在太小，不能显示所有和我工作有关的资料。

我不是唯一一个面临资料多而屏幕小问题的人。我们也许需要一个非常大但同时也非常昂贵的显示器才能完全显示伦敦地铁或一个公司组织树形图的所有细节信息。如果我们只有一部PDA或手机，情况就会变得非常糟糕：站在伦敦的一条大街上，手里没有地图，怎样才能有效率地查看伦敦地铁的信息来进行旅行策划呢？

数据表示

在第2章中，我们将显示器尺寸不够大的问题归结为“**数据表示**”问题。现在我们要给它一个适当的定义。在表示的诸多定义中，其字典定义如下：

表示：提供视图；显示。

因此，和数据的描述方式无关，数据表示关注的是描述如何得到显示，如何呈现给用户，甚至是该描述是否应该得到显示。当显示区域的大小受限时，布局问题就出现了。当然，数据描述和数据表示之间存在着内部联系。即使决定了数据描述的表示方法，依然存在是否对数据

表示进行交互控制的问题。当然，这些决定都深受可视化工作所要支持的任务影响。因此我们有必要首先讨论数据表示以及和数据表示的交互设计相关的一些概念。

4.1 空间局限

4.1.1 滚动

当文件大小大于显示区域时，滚动（scrolling）是一个明显的解决方法：一篇很长的文章可以滚动过一个窗口直至用户找到相关信息（图4-2）。有时滚动可以解决问题，但在很多情况下它并非一个有效的解决方法。例如，我正在写第2章的第3节（我认为是这样的，但其实我并不能看到最后一节的标题），我想查看前面章节的某一幅图片。它在哪里？我必须往前滚动，但是滚动到哪？我需要费劲地查找，在此过程中对当前任务的记忆可能逐渐消退，导致“我刚经过哪儿”的问题出现，我只得又滚动回刚才查看过的地方。使用微胶片的用户肯定能马上明白这个场景。滚动的主要问题在于大多数内容在当前窗口内不可见。 98

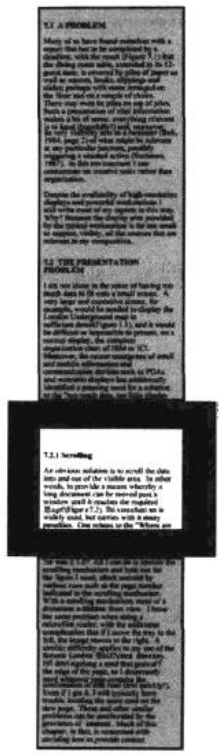


图4-2 滚动使得文件的大多数内容在当前窗口中不可见

4.1.2 总图+细节

滚动的一个不足之处是不能同时看到上下文和细节信息，解决方法是同时显示二者的视图。然而在通常情况下没有足够的空间能用相同的分辨率来线性地显示这两种视图。两个单独的视图（分别用于上下文信息和细节信息的显示）可以构成总图+细节（overview+detail）的显示方式，该方式可以带来更多的好处。图4-3是一个大家熟悉的例子：在主要页面中显示文件中某一页的详细信息，在旁边一栏中垂直地显示每一页的缩略图。这样，用户可以根据自己的速 99

度和判断力来查看细节并随时保持对上下文信息的关注，并且注意力可以很方便地在两种视图间进行切换。高显的缩略图提示用户当前所在位置。图4-4显示了一个视频编辑工具的界面。编辑者可以看到当前关注片段的上下文信息。总图+细节的表示方法将内容分割为可理解的几个部分，同时清晰地表明了它们之间的内部关系。

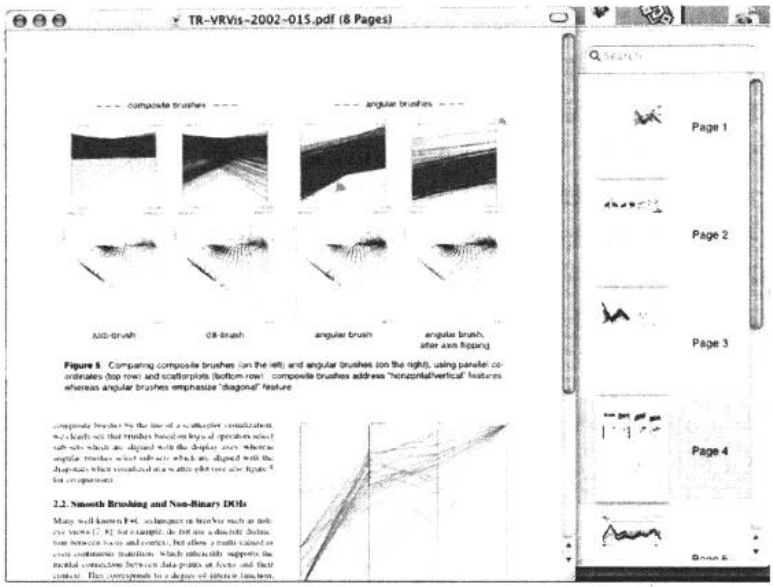


图4-3　总图+细节。当用户关注PDF文档的某一页的细节信息时，每一页的缩略图为用户提供了有用的上下文信息

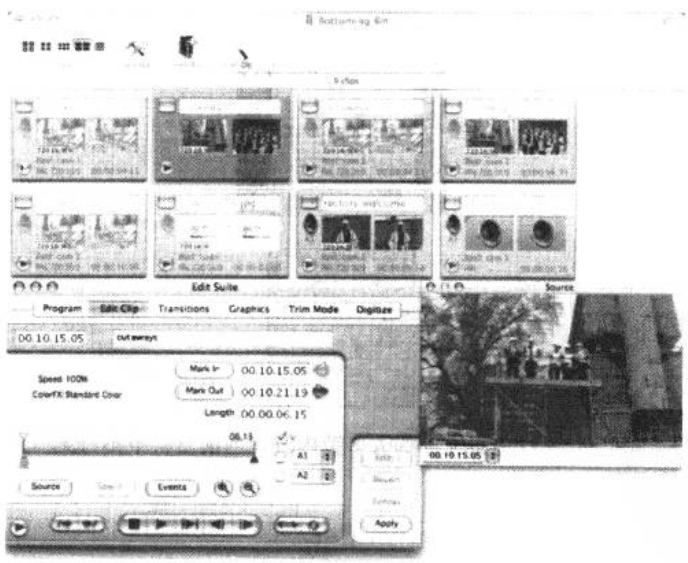


图4-4　一个提供总图+细节的视频编辑工具。界面上方的8个视频片段显示了当前视频文件的总图，当前片段得到高显。左下方显示当前编辑部分的总图信息，右边显示所选时间点对应的视频内容（图片感谢Colin Grimshaw惠允）

人们在旅行中，特别是自驾游时，经常会用到总图和细节。例如，一个来自英格兰南部的人要开车到北部去拜访他住在Halifax的姑姑Mabel，途中会经过Huddersfield。他在通过Huddersfield地区时需要一幅详细地图的帮助，并且他始终不能忘记这次旅行的目的是到达Halifax。因此，我们会看到他（通常是很紧张的）拿着两幅地图，一幅显示详细信息，另一幅显示周边地区的总图（图4-5）。可能的改进方法是添加一个（真正的或模拟的）放大镜（图4-6）或者DragMag（Ware and Lewis, 1995），它可以帮助用户灵活地选择任意感兴趣区域并为之显示一个附加了细节信息的放大图（图4-7）。虽然DragMag避免了放大镜遮住当前位置的缺陷，但是这两种方法都有一个同样的问题：当导航员想要引导司机穿过Huddersfield的街道开上通往北部Halifax的主要高速公路时可能遇到麻烦。拿着两张单独的地图，导航员很难回答诸如“高街和市场街是否通往主高速公路北口”这样的问题。这是因为总图和细节图之间缺失了联系。领航员需要的是某种数据表示，使得细节地图中的道路能平滑地过渡到总图中。这种需求是很普遍的，并且不只局限于地图的使用中，通常统称为焦点+上下文（focus+context）问题，接下来我们将对这个问题进行讨论。

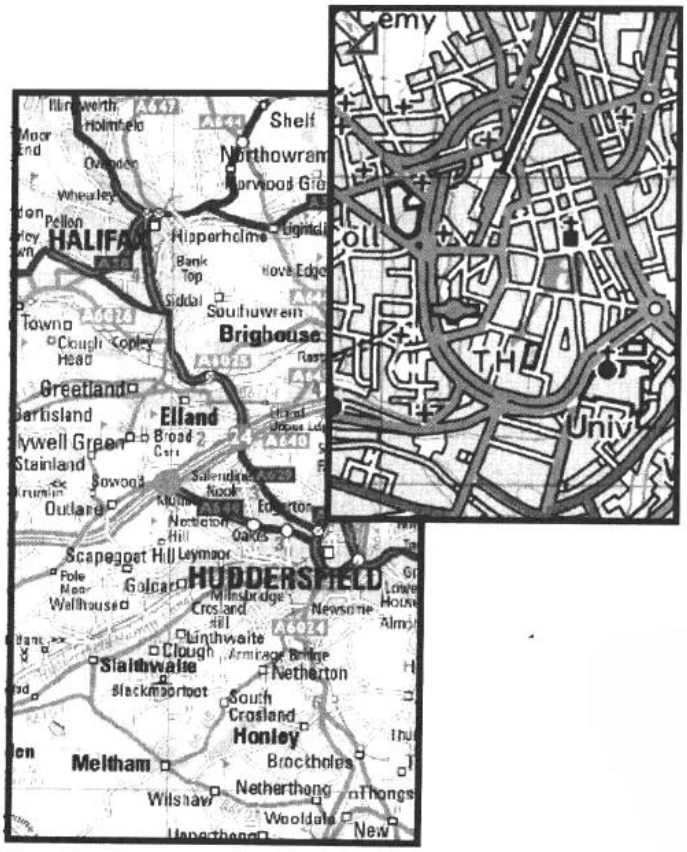


图4-5 去往Halifax方向的旅途中途经的小镇Huddersfield的详细信息（见彩图）



图4-6 一个真实或虚拟的放大镜遮住了放大区域周围的细节信息（见彩图）



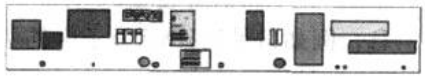
图4-7 DragMag技术允许对任意区域的放大（见彩图）

4.1.3 变形

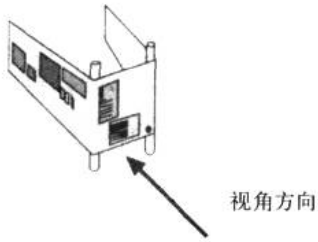
最早出现于1980年的变形（distortion）技术是解决焦点+上下文问题的一种途径。双焦显示bifocal display（Imperial College Television Studio, 1980; Spence and Apperley, 1982）是一种基于图4-8所示的简单隐喻的技术。显示在一条很长的纸张上的信息空间（图4-8a）太大了，它的细节信息不能完全地显示在正常的尺寸有限的显示区域内。将信息空间的左右两部分折叠起来（图4-8b），从一个正确的视角就能看到空间内的部分细节信息，“鸟眼效果”保证用户能得到其余部分的上下文信息（图4-8c）。因此，用户可以通过双焦显示对中央区域的信息进行读写操作，同时还能注意到边缘位置的来自老板的消息。可以通过特殊颜色或垂直位置来提示新消息。当然，新消息不能在变形区域内直接显示，但用户一旦注意到了重要消息的出现（表示为一个很窄的长条形），就可以滚动信息空间将该消息平滑且连续地移动到中心的未变形区域，消息得到放大从而变得可读。图4-9演示了一个简单的双焦显示技术。

双焦显示具有很多重要的特点。其最大的特点在于通过变形将显示区域划分为焦点（未变形）和上下文（变形）两个区域。第二，在滚动过程中，一个对象能从上下文区域平滑而连续地过渡到焦点区域。即使不使用滚动，也能体现两个区域间的几何和（一定程度上的）编码连续性。第三，显示区域还可以体现数据编码特点。原始的信息空间（图4-8）是一个二维空间，可以利用这两个维度对对象的两个属性进行编码。例如，可以用横轴表示文件的接收时间，用纵轴表示文件类型（如内部/外部邮件、手稿、时间表等）。在此基础上，还可以进行进一步的编码，例如利用颜色或形状对对象进行区分。关于编码需要注意的是，同样的对象在两个区域

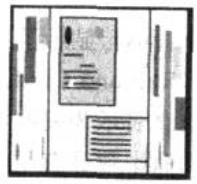
中可能有不同的编码方式。焦点区域的首要任务是保证可读性和交互性；而变形区域关注的主要问题不是可读性而是*认知*（awareness）和*识别*（identification），因此在变形区域内，文字和其他细节信息通常被*抑制*（suppression）。关于对象编码方式的选择，在满足认知和识别的前提下，一般应使对象在两个区域中的编码方式尽量保持一致，否则区域之间的过渡将是不自然的。



a) 一个由文件、邮件组成的信息空间



b) 空间的左右两端被折叠



c) 从一个正确的视角看到的信息空间

图4-8 双焦显示的主要原理示意图（见彩图）

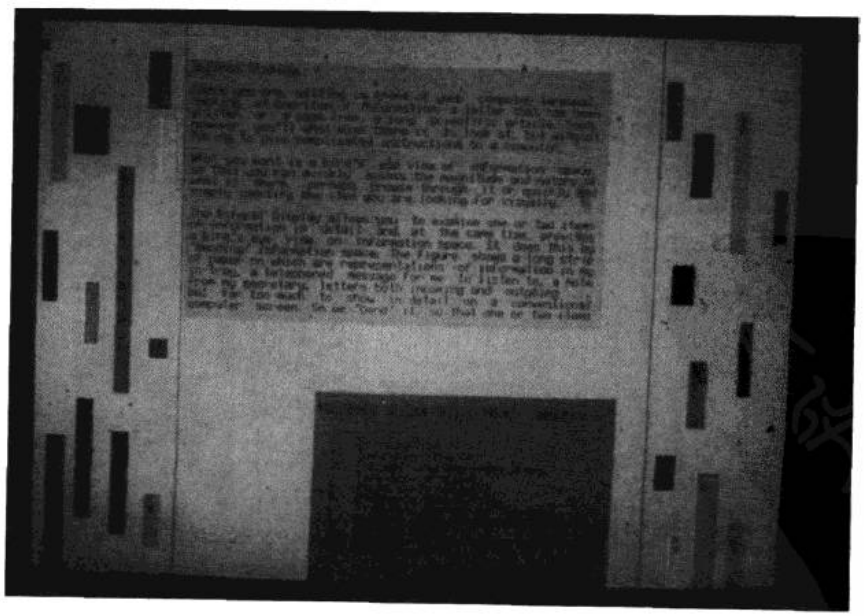


图4-9 早期双焦显示实例（见彩图）

双焦显示的另一个重要特点是用户的*手动控制*。如同最初提到的，滚动操作可以利用人的视觉习惯在触摸屏上得以实现。换句话说，用户可以持续地通过简单的视觉发现来对显示进行控制，例如用户可以判断需要显示的对象距离焦点区域的距离，调整手指的移动动作从而达到控制滚动操作的目的。

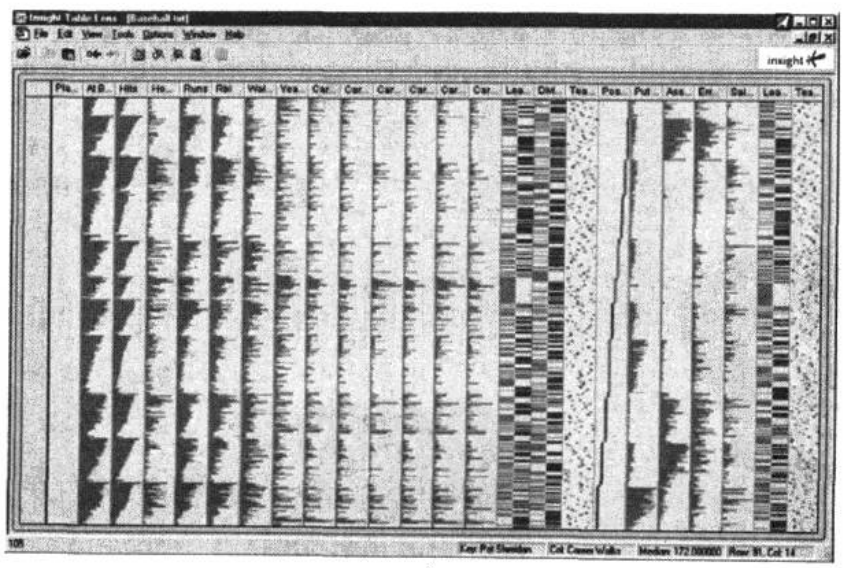
1. 应用

变形技术可以应用到很多领域里。在生物信息领域，可以利用信息技术进行生物数据的分析。序列是该领域中最重要的信息，例如常见的DNA分子中的核酸以及组成生命体的某种蛋白质的氨基酸等。图4-10显示了其中一种氨基酸序列：每个字母对应一种氨基酸，背景色显示了氨基酸序列的“电压”变化。由于用一维序列表示了三维信息，导致序列很长。研究人员需要了解整体序列，并和该蛋白质的其他描述进行对比，这里就需要用到变形技术（见图4-10）。注意，由于显示器本身导致的数据显示的不连续性可能影响研究者对蛋白质真实信息的观察，因此，这里使用的变形技术并未产生任何的信息断裂。换句话说，该序列中没有出现类似图4-8的突然折叠点。



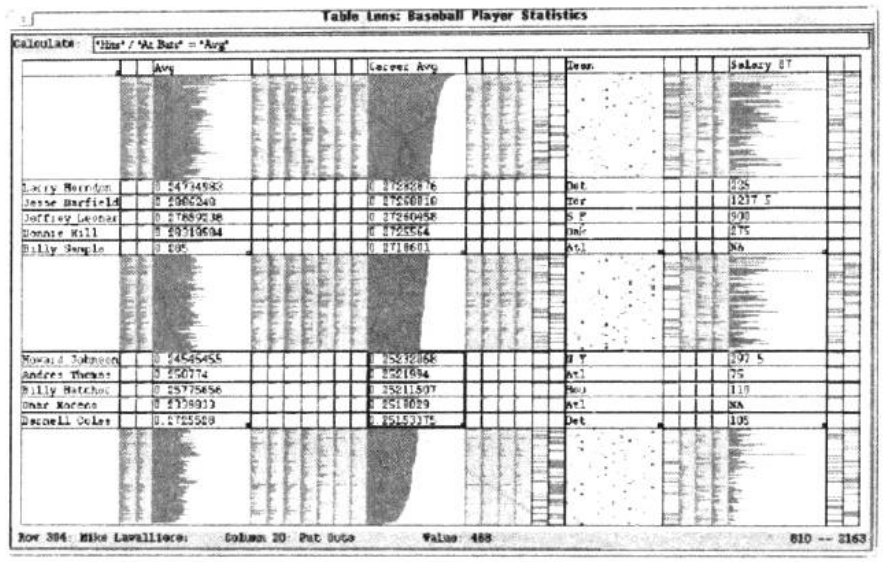
图4-10 某种蛋白质的氨基酸序列（图片感谢Tom Oldfield惠允）（见彩图）

图4-11所示的表格透镜（table lens）显示了另一种拥有多个焦点区域的变形技术。这种方法利用了人们熟悉的表格描述法（Rao and Card, 1994）。图4-11a所示的表格里显示了大约300位棒球选手的信息，每位选手的信息表示为表格中的一行，虽然每一行中的条形（形成一个直方图）代表了该选手的场上位置和命中数等有用的信息，但由于空间有限，选手的名字没有得到完整的显示。该描述的一个重要特点是通过鼠标选中某列可以进行属性的重排。这个表格透镜支持焦点+上下文视图，可以通过展开一列或多列查看姓名等细节信息（图4-11b）。



a)

图4-11 表格透镜。a）没有变形；b）通过变形（展开）显示姓名（见彩图）



b)

图4-11 （续）

2. 问题的普遍化

变形技术简单有用，可以将其推广到一般情况（Leung and Apperley, 1994）。例如，图4-12所示的变形可以叫做*X*变形。还可以对*X*和*Y*同时做变形（图4-13），这种方法很适合于伦敦地铁（Leung *et al.*, 1995）的显示。由于空间有限，在可移动的焦点区域（图4-14）外的站点名被抑制了。由于保持了焦点区域边界处线路的连续性，因此该图的可理解性得到了保证。

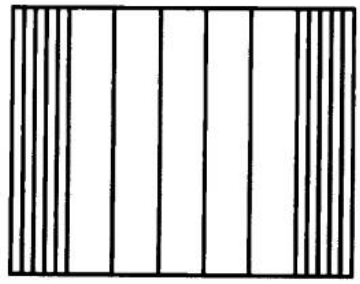


图4-12 *X*方向上的变形示意图

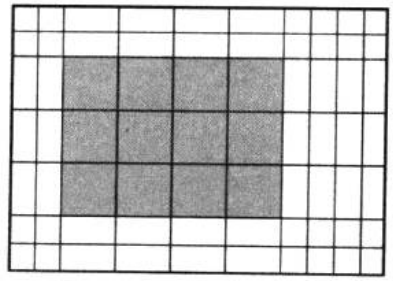


图4-13 *X*和*Y*方向同时变形的示意图

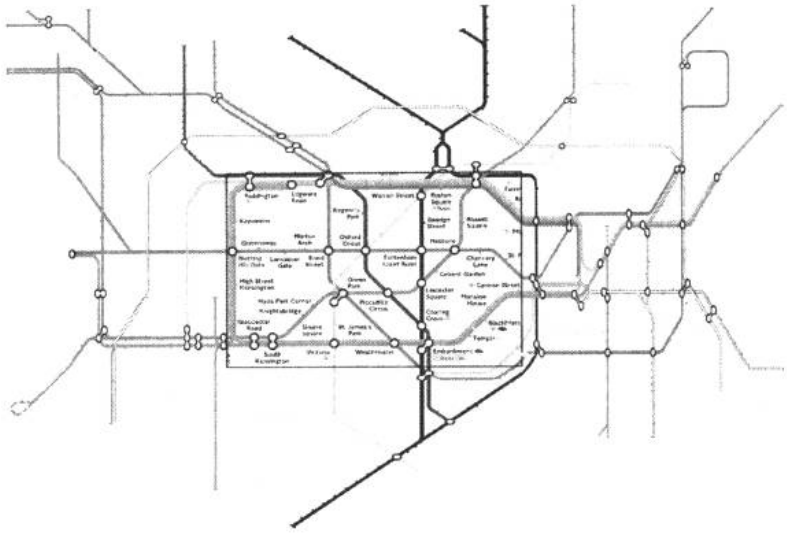


图4-14 伦敦地铁的变形图，保证了变形区域边缘位置的连续性（见彩图）

对*X*和*Y*同时做变形的方法还可以应用到日历上（图4-15）。发明于1980年的这样一个变形日历在当时并没有太大的实用性（Spence and Apperley, 1982; Apperly *et al.*, 1982），我们会在第6章详细讨论基于双焦技术的PDA日历实例（Bederson *et al.*, 2003, 2004）。*X*和*Y*同时变形技术的优势在于，相同的变形因子能创建可识别的缩略图。图4-16所示的翻转缩放技术正是这种方法的一个应用。基于PDA的应用中，有限的显示区域是主要关注的因素（Bjork *et al.*, 1999）。*X*和*Y*同时变形技术可用于手机上的图片浏览；图4-16显示了设计师的原始设计草图。该技术的应用还可见如图4-17所示的基于PDA的路线显示，以及用作对比的图4-18所示的基于交互平台的地理信息的协作使用（Ryall *et al.*, 2005）。

100
~
107

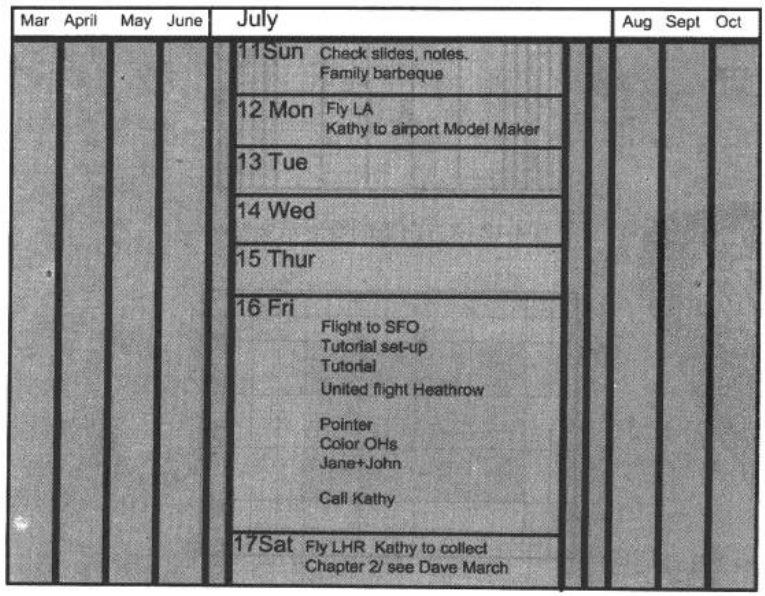


图4-15 结合*X*和*Y*方向上的变形可以提供一个方便的日历界面

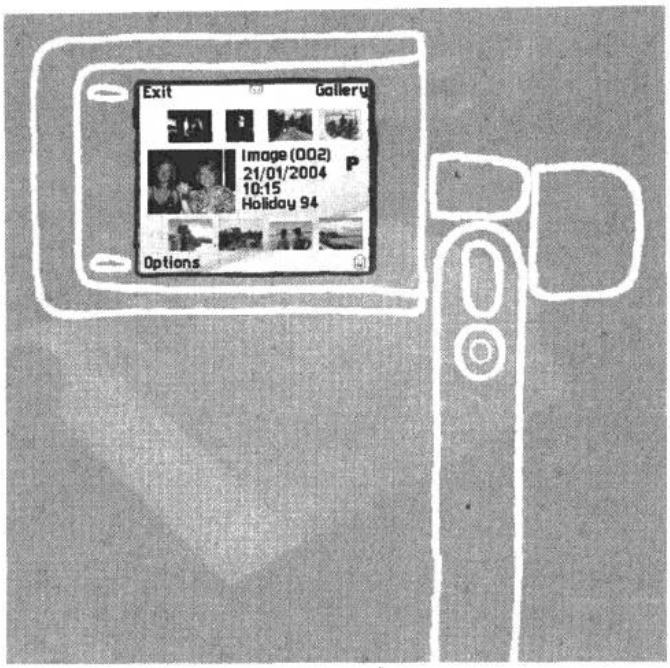


图4-16 视觉设计师对翻转缩放应用的设计草图，该应用用于支持Nokia手机上的图片显示

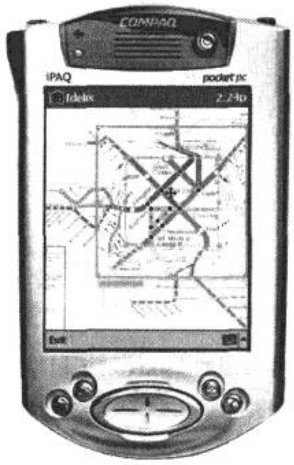


图4-17 PDA上的变形地图，显示了站点间的联系，并保证了整幅图的连续性

MacOSX操作系统中的“dock”也使用了相等变形因子的变形技术（图4-19）。该方法已被应用于图片集的快速浏览（见4.2节，McGuffin and Balakrishnan, 2002）。1991年，Mackinlay等展示了变形技术的3D应用——透视墙（图4-20），该应用实现了对焦点区域的延展。变形技术还可以用于层次型数据（Stasko and Zhang, 2000）的表示。

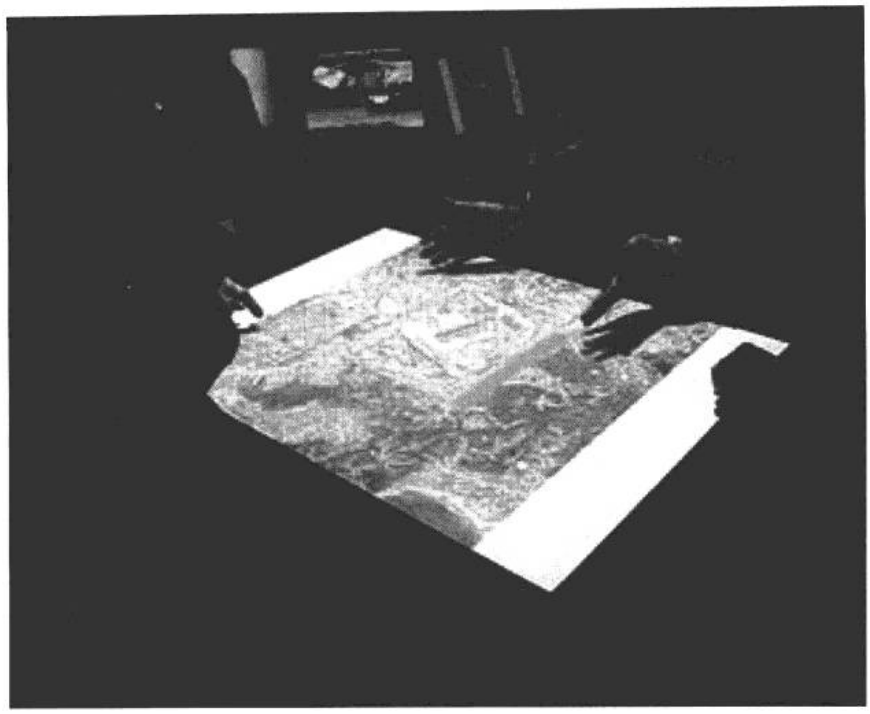


图4-18　基于交互桌面的变形地图（图片感谢IDELIX Software Inc.和Mitsubishi惠允）



图4-19　MacOSX操作系统的dock使用了相等变形因子的变形技术

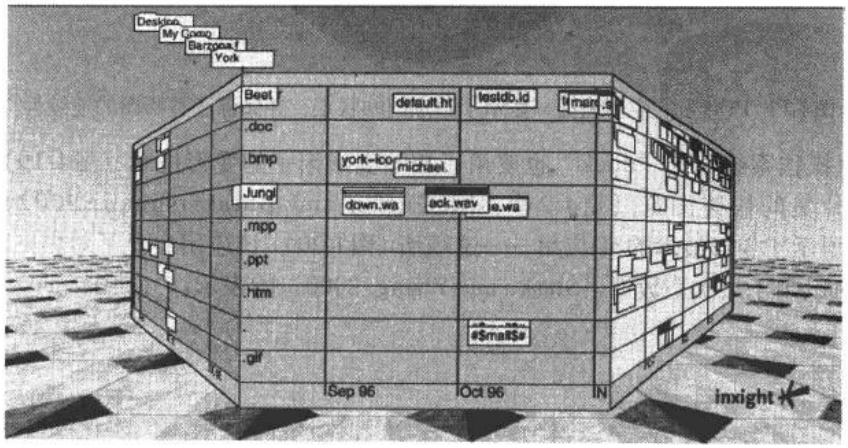


图4-20　透视墙将3D效果应用于双焦显示技术

4.1.4 抑制

抑制是和变形有着共同目标的另一种表示技术。Furnas（1981, 1986）提出了在局部细节信息和全局上下文信息间取得平衡的观点。这一论述和Steinberg的海报“从第九大道看全世界”有着异曲同工之处：这幅海报以曼哈顿市中心为核心区域，显示了诸如邮箱、地铁入口以及街角小店等许多当地人很感兴趣的细节信息。而对于整个澳洲大陆这样对当地人而言关系不是太密切的信息，在海报上被描绘为遥远海洋中的一个小点。Furnas发现设定*感兴趣程度*（degree of interest）是很有用的，它有助于决定应该得到编码和表示的数据。和双焦显示一样，Steinberg海报中的美国地图也使用了变形，并对无关的细节信息进行了抑制。

Furnas的抑制概念建立在一个直观且生动的公式基础上。任一数据元素的*感兴趣程度*（DoI）都可由一个包含两个变量的公式得到：其中一个变量是该元素的*先验重要性*（A Priori Importance, API），另一个变量是该元素距离用户当前焦点元素的*距离*（distance, D）。

API和D的概念可以借助于图4-21所示的公司结构树加以理解。我们首先讨论距离D。假设需要查询该公司的生产活动，我们自然会去关注负责生产的人员P。当然，我们可以在该人员的某种数据编码上简单地点击一下就可以看到这个人的相关信息。但是，考虑到查询的普遍实质，如果在*聚焦*P的同时能看到他的工作环境的上下文信息，这将更有利于我们的查询。P的直接上司S是相关度很高的一个人员，直接向P进行日常汇报的K、M和N也是可能的三个相关人员。而直接向N进行汇报的F和G的相关性不是太高。同样的，直观来看公司总裁也和我们的查询不太相关。我们可以通过当前焦点P和其他人员之间的*距离*来对以上考虑做一般化解释。对两个直接相连的结点赋一个单位权值，这样，根据结点离当前焦点P的距离可以为图4-21中的每个结点赋一个距离值（图4-22）。从查询的实质来看，可以通过设定一个上限阈值来定义我们的感兴趣度（图4-23），这样就可以很自然地得到所要查找的信息（图4-24）。

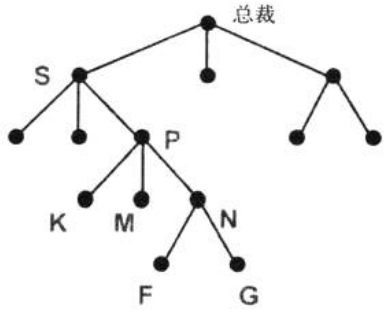


图4-21 一个公司的结构树

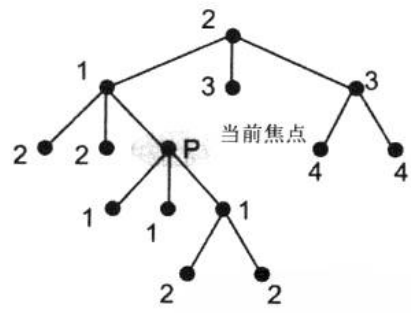


图4-22 显示其他结点距当前焦点的距离

108
~
111

关于API，可以根据结点在这个组织结构中的重要性为树中的每个结点赋一个API值，而这个值与结点距当前焦点的距离无关。很自然的，总裁的API值是最高的（例如10），其余人员的API值随着他们职位的降低而依次递减（图4-25）。每个结点的API值和D值之间的差值即为该结点的感兴趣度DoI。本例中各结点的DoI值见图4-26。如果为感兴趣度设置一个下限阈值6，则对应的焦点和上下文信息如图4-26所示。API值显示总裁是这个结构树中最重要的人员，这将导致上下文信息偏向职位高的人员。

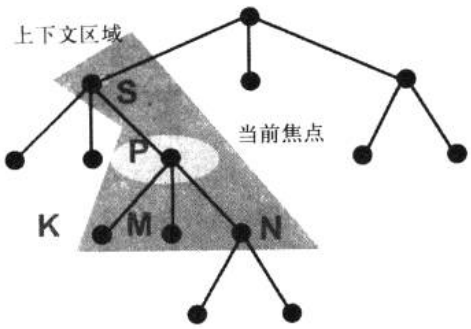


图4-23 通过设置各结点和当前焦点的距离的上限阈值来选定上下文区域

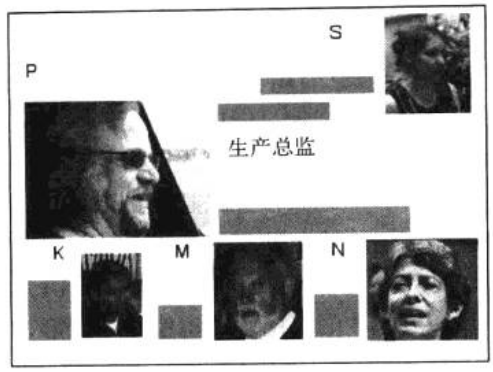


图4-24 同图4-23对应的焦点和上下文信息

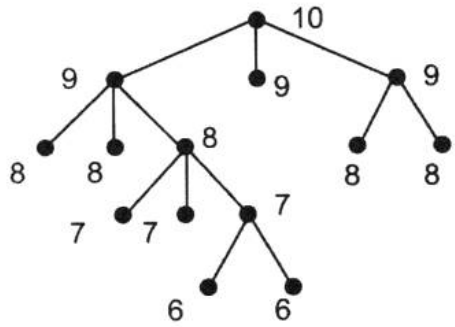


图4-25 为结构树中的每个结点赋一个API（先验重要性）值

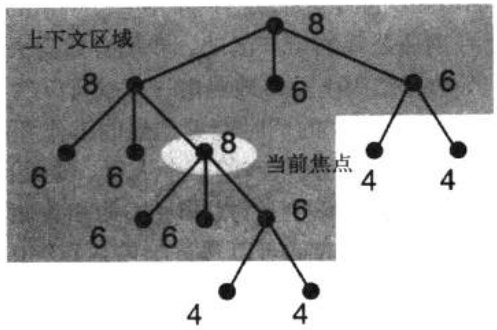


图4-26 每个结点的感兴趣度DoI (=API−D)。为DoI设置下限阈值6，相关的结点显示在阴影区域内

112

Furnas提出的DoI概念有着广泛的应用，例如需要从一个庞大的结构中了解一个小部件的功能。工程系统中错误的定位和修正需要专家对庞大的图表进行详细检查，定位到可能相关的（通常是很小的）部件，才能进行下一步的修正操作。飞机的维护工作也是一样的，这促使美国空军开发了一个系统，在该系统中，一旦兴趣度函数得到确定，图4-27所示的工程图就能自动简化为图4-28（Mitta, 1990）。

魔术透镜（magic lens）是抑制技术的很有价值的应用。在图4-29所示的例子中，图4-29a显示的是一幅传统的地图，其中显示了一个街区内的公路、街道、教堂、铁路线和车站。维修小组要检查该街区内的燃气供应情况，需要了解地下燃气管道的位置及相互关联性、阀门以及电线、电话线等其他预埋管道的位置（图4-29b）。然而，由于没有相关地理信息，图4-29b的实际用处并不大。图4-29c相对于图4-29b更有用，因为它在地图中显示了某个感兴趣小区域内的燃气、电线及电话线管道信息。这样维修人员可以方便地检查到公路尽头，有助于深入地进行查错。这样一种对不同“层”数据的检查功能通过“将工具引入数据”实现不同层次上的（交互式）数据检查，是一种很有用的称为*魔术透镜*的技术（Stone *et al.*, 1994）。它的魔力也部分来自人们所熟悉的放大镜的隐喻。该技术用到的双重透镜和“看穿”（see-through）工具（Bier *et al.*, 1994）可以推广到一般情况。魔术透镜在生物信息学领域也有很多应用。图4-30利用活动的魔术透镜透过一个蛋白质分子表面来查看内部的原子结构。

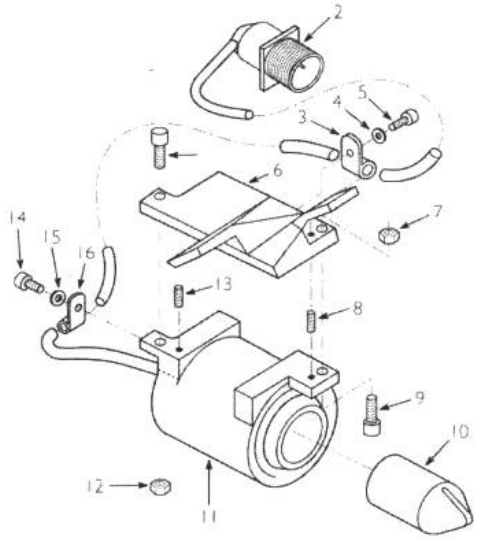


图4-27 一幅工程图的某个部分

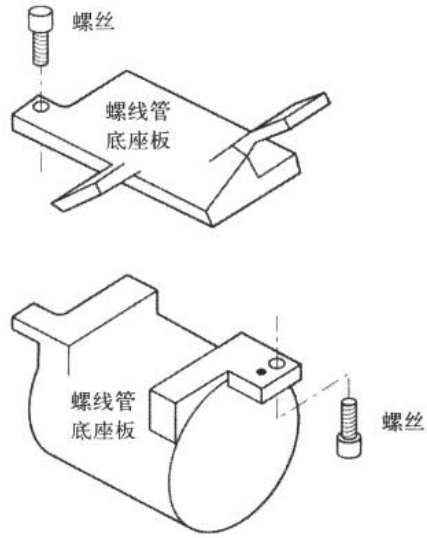


图4-28 工程图在查错的过程中得到简化

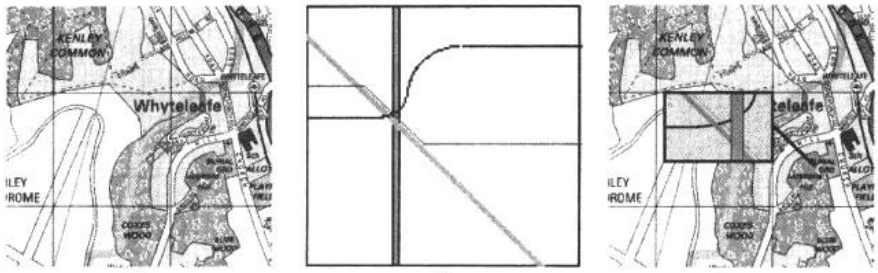


图4-29 魔术透镜示意图。a）传统的区域地图；b）该区域内的各种公共预埋管道（燃气、水、电等）；c）通过（活动的）魔术透镜查看该地区内某感兴趣区域里的管道埋设情况

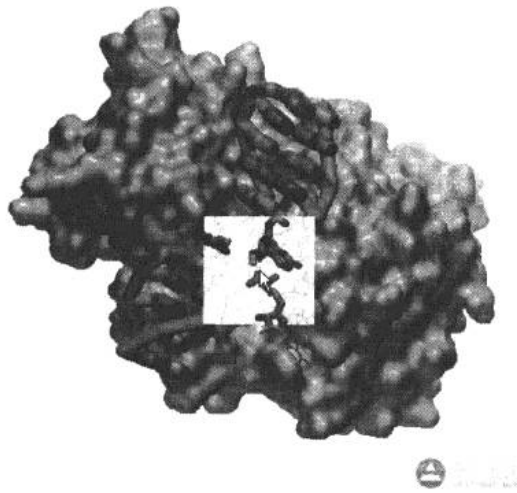


图4-30 在某数量级上（ID=10mh）用不同颜色标注蛋白质转移酶分子表面的潜在DNA静电跃进。魔术透镜窗口中显示了相关原子结构，跃进的配合基结构高显为圆柱状，从而提供了蛋白质的内部视图（见彩图）

113
~
114

1. 变形和抑制的结合

决定何时该聚焦、何时该过滤是一个常见的设计挑战。在实际应用中，变形和抑制的结合可以带来一些好处。双焦显示结合了这两种技术，一般没有显示出变形区域中的信息对象的全部细节信息。虽然可以使用Furnas的DoI概念自动地决定变形区域中的数据描述，但更多情况下视觉设计师会为具体的应用创建特定规则。

图4-31显示了一个变形和抑制相结合的例子，并使用了如图4-32所示的橡皮变形（rubber sheet distortion）技术（Kadmon and Shlomi, 1978）。这个例子应用于以下场景：用户现在位于曼彻斯特的一家旅馆，他想去拜访住在40英里外的Huddersfield的姑姑Mabel。为了完成这个任务，我们首先想象打印在一张橡皮上的英格兰北部地图，然后从里往外推挤这张橡皮，使这两个城市的足够多的细节信息得以显示（图4-31）。这样用户就可以在这两个城市中实现沿逐条街道的定位以及在汽车高速公路的出口处来回运动。除了这样的变形以外，我们意识到，一旦用户上了高速公路，细节信息就不再重要了。对用户而言，偶然出现的地标物即可轻松地提供定位信息，确认当前路线是否和原定计划一致。正是由于这个原因，图中只显示了高速公路两旁的地标物，而其他细节信息被抑制了。

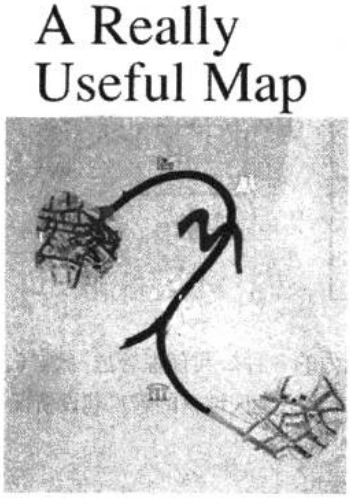


图4-31 橡皮变形和抑制的结合，产生了一幅适合城市间旅行的地图

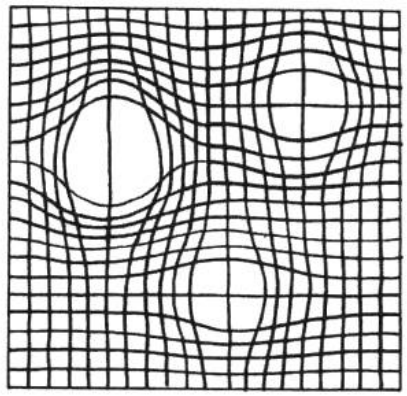


图4-32 图4-31所示地图中使用的橡皮变形技术

115

出现在PDA和手机上的“锁眼”问题提醒我们这样一个事实：数据描述和数据表示存在着不可避免的内在联系，我们一定要注意避免由于过度关注其中一项而导致忽略另一项。基于halo技术（Baudisch and Rosenholtz, 2003），地图（图4-33）上的圆弧反映了当前屏幕上没有显示的感兴趣点的位置信息。PDA屏幕上的这些弧描述了没有显示的地点，用户可以通过为弧所对应的圆建立心理模型来理解这些未显示在当前屏幕上的地点及它们的中心位置。

2. 历史评论

尽管变形和抑制的概念在20世纪80年代就出现了，然而维持焦点和上下文之间的平衡这一观点的提出时间更早。例如，Farrand早在1973年就基于自己丰富的工程设计经验发表过以下评论（Farrand, 1973）：

开窗术迫使人们记住相对于整个场景来说已经出现的部分。

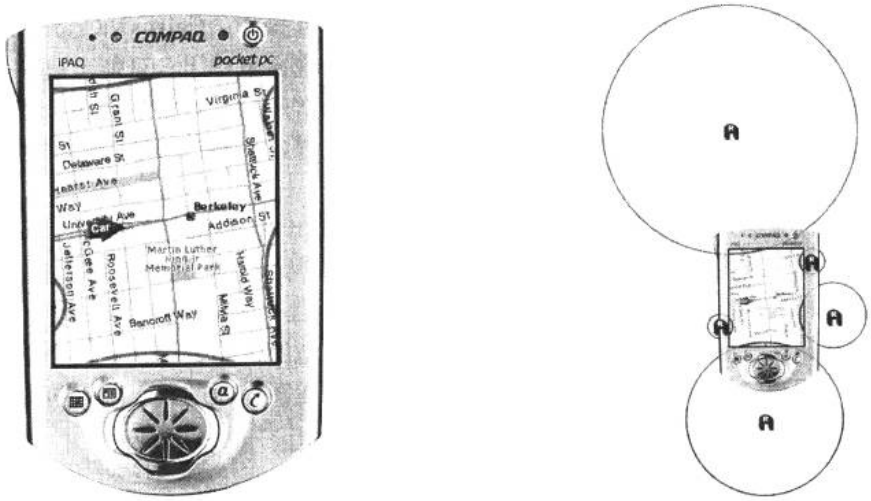


图4-33 通过（基于halo技术的）数据描述为小型屏幕提供上下文信息（图片感谢Patrick Baudisch惠允）

这里的“开窗术”指的就是“滚动”，并且，

一个有效的变换从一定程度上来看必须在维持整体认知的同时提供细节信息。 116

这里的变换指的是将现有的大型图标变换成一个可以更有效地在有限区域中显示出来的图标。在同一篇论文中，Farrand提出了一个非常流行的术语“鱼眼”（fisheye，现在这个术语同时包含变形和抑制），并引用了一段更早期的评论（1971, unreferenced）：

……显示区域应满足以下两个需求：1）提供可供交互的有效细节；2）维持整个场景的全局视图。

4.1.5 缩放和平移

到目前为止，我们讨论过的数据表示技术如滚动、总图+细节、变形和抑制等关注的重点都是如何对可用显示区域进行最有效的利用。现在我们要讨论缩放和平移。*平移*（panning）是指在一张较大的二维图片上做视窗的平滑连续的移动（图4-34），*缩放*（zooming）是指在固定窗口中对二维图片的某个持续变小/变大的部分做平滑连续的放大/缩小，见图4-35。一般通过平移来确定视窗的位置，然后通过缩放来实现总图和细节之间的平滑过渡。

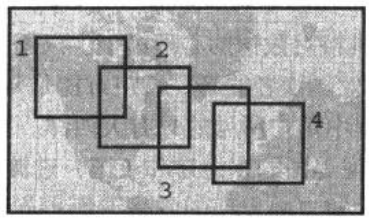


图4-34 平移是在二维图片上做视窗的平滑移动

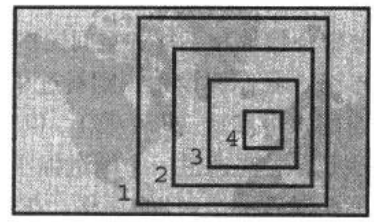


图4-35 缩放是对二维图片的某个持续变小/变大的部分做平滑连续的放大/缩小

除了放大过程中不可避免地忽略上下文信息而导致过滤现象，传统的“几何”缩放活动中没有对数据本身或其描述进行修改。从这个角度来看，放大和变形（例如双焦显示）是很不同

的，变形的目的是通过保留上下文信息来实现聚焦而非过滤操作。Cairns和Craft（2005）指出缩放有助于两类认知任务的实现。通过放大，外部信息从视窗中移出，可能生成一个更易于操作的视图，而缩小使隐藏信息变得可见，这类隐藏信息通常是已知的但是无法回忆起的上下文信息。缩放可以帮助用户重新发现他们在信息空间内的位置，从而在心理模型中融入新的上下文信息。

我们可以通过空间比例图表（space-scale diagram）这个分析框架（Furnas and Bederson, 1995）来对平移和缩放做讨论。在图4-36中所示的三维空间中，其中的两维用来表示空间信息，另一维（垂直方向）表示显示比例（因此称作空间比例图表）。图中显示了一幅地图的四个拷
117 贝，每个拷贝都在比例轴上做了一定程度的放大。注意，地图中的一个点变成了空间比例图表中的一条射线。用户的视窗表示为一个固定大小的矩形，在图中通过做水平方向的移动来实现平移，通过沿射线方向的移动来实现缩放。

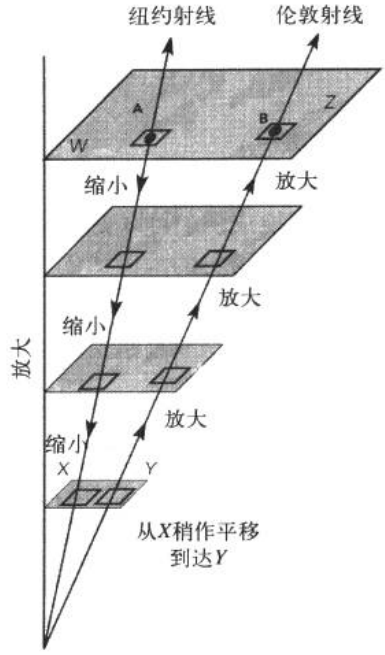


图4-36 结合了缩放和平移的空间比例图表

通过结合缩放和平移，空间比例图表可以帮助用户维持对数据的心理模型。以图4-36所示地图为参考，我们假设用户刚看过了纽约，现在想看伦敦。读者的第一反应可能是从*W*到*Z*做一个视窗的水平移动（即平移），但在一大半的过渡过程中用户所见的只有大西洋。更合理一点的做法是，首先通过一个渐进缩小（视窗内可能会出现美国的东海岸和英国）过渡到*X*，然后跨过大西洋做一个到*Y*的平移，在一大半的平移过程中窗口中出现的将是美国和英国。当英国填满视窗后，就可以放大到伦敦（*Z*）。谷歌地球有效地利用了平移和缩放的结合，Cockburn和Savage（2003）也对这两种技术的自动结合做了大量深入的研究。

以上提到的缩放活动通常属于几何缩放（geometric zoom）。它是连续的，放大将导致过滤和上下文信息的丢失，但是同时带来了细节的放大。然而很多实际应用中并不需要连续的视图变换，而加入了额外细节信息和单纯的放大功能的离散视图变化将更为实用。例如，从英格

兰北部的总图（图4-5的左图）变化到Huddersfield的细节图（图4-5的右图）。前面讨论过的 118
图3-21也是一个很好的例子，除了最主要的价格信息，还可以减少感兴趣汽车的数目，用节约出来的空间显示汽车品牌信息。图4-37（A～C）显示了一个空间数据管理系统（Data Management System, Herot, 1980; Herot *et al.*,1981）。有时船长需要查看现有可供使用的船只信息（视图A），随后又可能要了解一艘特定船只的详细信息（视图B）。从视图A到B的过渡并不是一个纯粹的几何缩放：如果是的话，在视图B中出现的船只文字描述也应该显示在视图A中，但这些文字在视图A中可能会变得不可读而且会分散用户注意力。从视图A到视图B的过渡是离散的，由于新视图传达的信息和旧视图不同，因此我们可以称之为*语义缩放*（semantic zoom）。用户对视图B可能是满意的，但有可能还需要查看一些附加细节信息，甚至是船只的图片而非简单的图标，因此需要用到一个从视图B到视图C的单纯的语义缩放。实际上我们已经在双焦显示（图4-8）中看到过语义缩放的例子：同样的对象在焦点区域和变形区域中有着不同的描述。

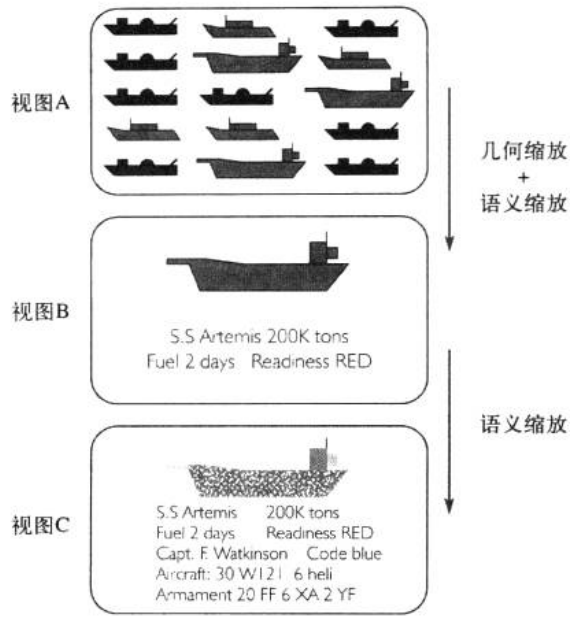


图4-37 几何缩放和语义缩放的结合

以上展示的所有例子都体现了语义缩放和几何缩放的区别：几何缩放关系到一个完整的自动过程（放大操作），而语义缩放产生一个*新的数据描述*。设计和语义缩放相关的选择性抑制离自动化还差得很远；交互设计师必须理解所要支持的任务以及相应的解决方法才能有效地设计出组成语义缩放的数据描述序列。这样的设计方式不是直接的：必须考虑到作为前驱视图提示者的内容、作为总图的内容以及传递新理解的内容之间的平衡关系。在6.5节的案例分析中 119
我们将会看到一个考虑了这些设计因素的实例。

4.2 时间局限

4.2.1 快速序列视觉表示

要想引起用户对某些数据的视觉关注，所要做的工作远不止显示区域内的布局设置。交互

设计师的另一个设计自由是将数据设定为顺序出现（显示速度通常很快）而非同时出现。现实世界中的一个例子是迅速翻动书本从而在短短几秒钟内获得对该书内容的大体印象。这样的行为可以称为*快速序列视觉表示*（Rapid Serial Visual Presentation, RSVP）。例如，图4-38可以依次显示一个图片集中的所有图片，每幅图片显示大约100毫秒。即使在这样快速的显示速度下，用户能正确判断出其中是否出现一幅目标图片的概率还是很高的。在介绍了RSVP模式后，我们来讨论显示区域的可能用法：图4-38所示的叫RSVP模式（“幻灯片模式”）。图4-39同时显示多幅图片，因而每幅图片的尺寸较小，我们称之为非顺序型的“堆模式”。

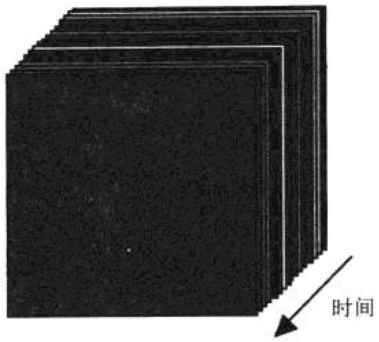


图4-38 快速序列视觉表示（Rapid Serial Visual Presentation, RSVP）。每次显示图片集中的一幅图片，图片之间以一定的速度（如1秒钟显示10幅图片）进行切换（见彩图）

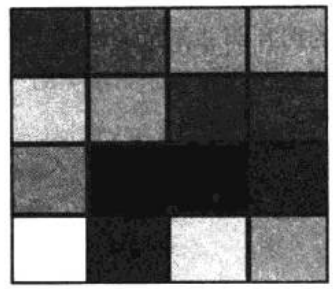


图4-39 图片集的同时表示（见彩图）

也许大家想不到，RSVP技术可以支持日常生活中的很多任务（Spence, 2002）。例如，很多时候我们需要快速翻动一个（新的）文件夹来“看看里面有些什么”或“确定里面是否有某幅图片，而这幅图片的位置记不清了”。开会时，所有与会者都把报告存在手提电脑上，通常也是通过RSVP方式来找到某个报告内的某一页。用户对该页位置的记忆（“那页大概在报告的中间位置，页面左下方有个绿色的图表”）有助于快速查询。晚上回家后通过快速转台可以了解当前正在播放的电视节目。为了在照片库中找到一张已知照片给朋友看，我们通常会快速地翻动一盒照片。对于数字照片也一样，我们可以通过数字RSVP方法（例如iPhoto）加以实现。

即使是一个定义很模糊的问题（如“母亲节我该送妈妈什么礼物？”），快速地浏览一系列打印出来的或在线的对象图片就如同在购物中心里快速走动一样，也可以很好地帮助用户定位感兴趣的对象。针对这个问题，Wittenburg等（1998, 2000）提出了“悬浮RSVP”（floating RSVP）技术：图片初始时出现“在远处”，逐渐向用户“移动”，这就好像是在高速公路上开车时看到各种标志牌向你移动一样。图4-40是使用了这种技术的网上购物中心截图。右边的两个箭头用于手动控制移动的方向和速度。同样是在网上购物的情景下，Wittenburg等（1998, 2000）提出RSVP的另一种变形：“拼接图RSVP”（collage RSVP）。该技术使用了将图片（本例中为书籍封面）放在桌面上的隐喻（图4-41）。虽然较早显示的图片最终会被其他图片所遮盖，但用户还是有机会发现感兴趣的对象，并且可以对这种表示做逆转。Lam和Spence（1997）将手动控制的RSVP和双焦技术相结合，为电影库提供了一个方便的检索界面（图4-42）。RSVP也有助于改进小显示区域所带来的局限性，我们称之为“时间和空间的折中”。Bruijn和

Tong（2003）在网页浏览的前提下对这个问题进行了探讨（见6.3节）。

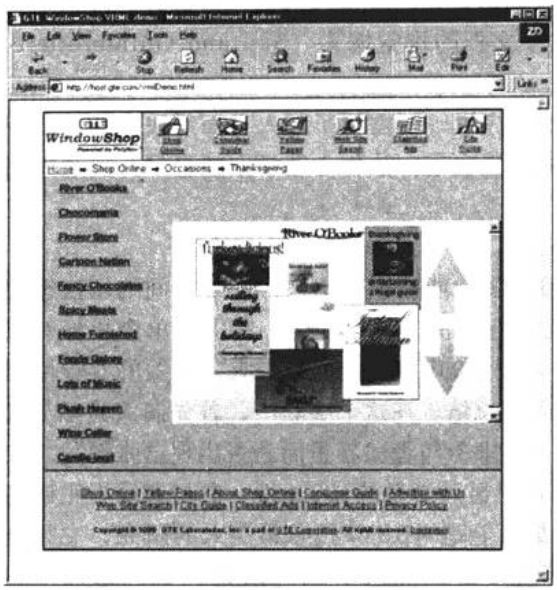


图4-40 在“悬浮RSVP”表示中，图片从远处朝用户方向移动。用户可以通过箭头控制“移动”的方向和速度（图片感谢Kent Wittenburg惠允）

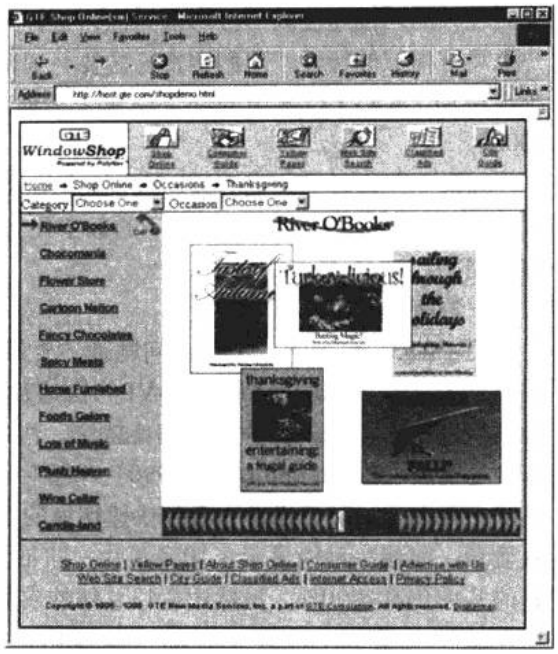


图4-41 用“拼接图RSVP”表示一个网上书店内的书籍，书籍封面依次拼放在界面中。界面下方的箭头用于控制表示的速度和方向（图片感谢Kent Wittenburg惠允）



图4-42 电影广告片的浏览界面。光标运动轨迹两旁的海报随之凸显出来。整个海报库使用了双焦显示技术，通过滚动可以将感兴趣的海报移动到中心区域，点击鼠标可以播放该影片的一段剪辑

Tse等（1998）、Komlodi和Marchionini（1998）等对RSVP的一个特殊应用进行了研究：不要求用户用正常速度从头开始观看，系统就能帮助用户决定是否要观看一部视频或影片。

Tse和同事们让用户快速观看影片的一些关键帧，这样可以对影片的内容有个大致的了解。研究发现帧的切换速度以一秒10帧为佳，这样可以保证用户了解到影片的大致内容。电影频道用户也具有类似的特性，他们常常只需要一到两秒就能决定是否观看整部影片。最近，Flipper系统也使用了RSVP技术中的翻页隐喻来帮助对数字文档的视觉搜索（Sun and Guimbretiere, 2005）。

如果交互设计师想要开发RSVP技术的众多潜在应用，则需要了解人类面对快速翻动的图片的反应。幸运的是，早在RSVP的数字化实现成为现实前，认知心理学家就已经开始这方面的研究了。

120 ~ 122

一瞥而过的图片库

关于RSVP技术的一个核心问题是“要保证目标图片能被识别出来，图片之间的切换速度应该是多少？”。换句话说，RSVP的快速翻动究竟应该快到什么程度？在保证单个目标对象能被识别的前提下，图片切换速度越快，作为表示技术的RSVP就越吸引人。相关的实验证据可参见文献（Potter and Levy, 1990）和图4-43的简要总结。在这个实验中，首先向实验参与者展示一张图片，然后播放一系列快速切换的图片，要求参与者回答里面是否出现这张图片。实验显示，即使一秒内显示了10张图片，即每张图片只显示短暂的100毫秒，参与者给出正确答案的几率仍高达90%。虽然图4-43总结的实验结果可能是对RSVP技术最深入的研究，它只是历年来能收集到的来源单一的实验证据。对于想要继续深入研究的读者，我们强烈推荐《Fleeting Memories》一书（Coltheart, 1999b）。

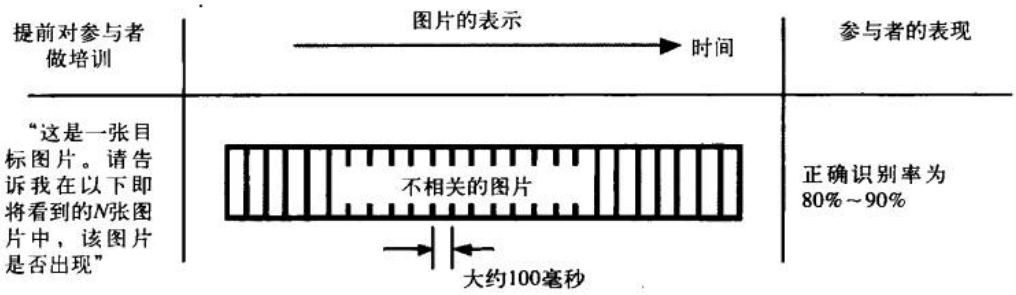


图4-43 该实验测试参与者正确判断图片集中是否出现一张提前看过的目标图片，图片的显示速度为1秒钟10张

4.2.2 空间和时间资源

对不同表示模式的优点进行直观讨论是简单而危险的。比较需要建立在一定基础之上，而资源就是其中的一个基础。可以认为支持某项任务的图片库的交互式设计受到两种资源的限制。一个是我们在前面4.1节中已经讨论过的显示区域。由于任务通常要求在一个给定的时间限制内完成，因此，另一个限制就是表示总时长。相信我们都有这样相同的经历：当系统执行某项任务时，相关信息过了很长时间才得以显示，这会加剧用户的沮丧度，导致用户兴趣度的丢失。

我们可以用图4-44所示的资源盒来描述显示区域和表示总时长的并发限制。这样，一个有趣的问题就出现了：“要将一个图片集呈现在用户面前，这些图片在资源盒内应该如何排列？”。现在已有很多解决方法，其中一些我们在前面的章节中已经讨论过，当然还会出现新的方法，但是所有方法的目标都在于向交互设计师展示信息呈现的不同方式，例如图4-45所示的6种表

示模式。当使用资源盒来比较不同的表示模式时，对于所有的模式，假设可用的显示区域和表示总时长都是一样的。 123

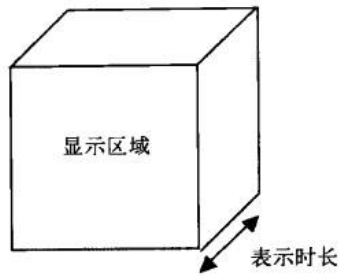
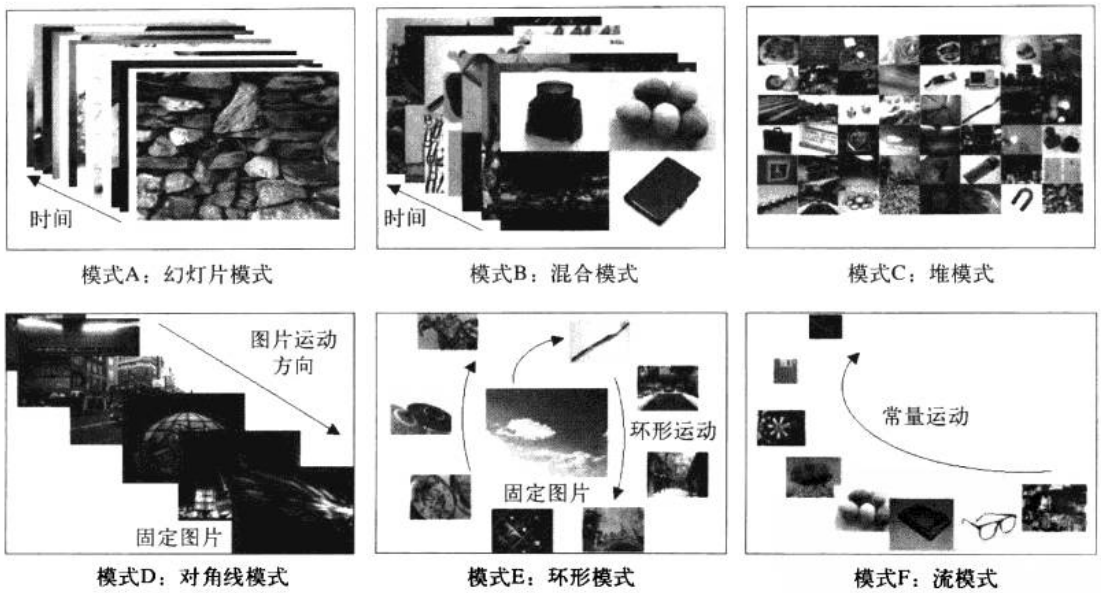


图4-44 用“资源盒”表示显示区域和表示总时长对数据表示的限制

根据某个特定的图片是显示在唯一固定的位置上，还是按照某种顺序依次显示在不同的位置上，可将图4-45中的各种表示模式分为静态组和活动组两类。在三种静态模式中，我们已经讨论过幻灯片模式（A）和堆模式（C）。剩下的混合模式（B）的一大潜在优点是，当处于幻灯片模式时，一张图片可能会显示四次。但是它的潜在缺点是每张图片将占据1/4的显示区域。将混合模式纳入图4-45的原因在于早期的实验（Fawcett *et al.*, 2004）显示，混合模式是最受欢迎的静态模式，并且当需要判断某张特定图片是否出现在一组图片中时，该模式是最有效的。



模式A：幻灯片模式　模式B：混合模式　模式C：堆模式

模式D：对角线模式　模式E：环形模式　模式F：流模式

图4-45 三种静态表示模式（A、B、C）和三种活动表示模式（D、E、F）（图片感谢Katy Cooper惠允） 124

在图4-45所示的三种活动模式中，模式D叫对角线模式，也叫“时间隧道”模式（Wittenburg *et al.*, 2003）。在该模式中，每张图片从左上角移动到右下角。交互设计师可以在图片沿着对角线运动的同时增大图片尺寸。若想通过缩小每幅图片的可见部分来减少图片的位移，也可以使相邻图片有一定程度的重叠。从模式D以及我们在后面章节的讨论可以看到，关键性的设计决策主要考虑图片以何种方式从显示区域中消失。图片可以以连续方式运动，然后逐渐消失；也可以在消失前在右边的角落里满屏显示100毫秒。我们将看到，后一种方式是很

明智的。在环形模式（E）中，一幅图片首先以最大尺寸显示在中心位置，在该位置短时间停留后，以近似环形的路线运动，最后从左上角退出显示区域。在流模式（F）中，图片做常量运动，从右下角进，从左上角出。

图4-45中所示的六种模式各自的优点和用户的眼球活动习惯紧密联系，因此我们接下来要简要介绍一下人类的视觉行为。

眼球活动（Eye-gaze）

当我们凝视显示区域并想要从中获得信息启示时，我们不断地移动眼球，视线在显示图片上不断移动（Ware, 2004）。人类的眼球活动主要分为*扫视*（saccade）和凝视（fixation）两类（图4-46）。扫视指眼球的运动，一般在20～100毫秒之间，类似弹道学原理，扫视一旦开始，中途就不能修改。凝视指一般保持在200～600毫秒之间的对某个固定点的注视。实际上在阅读文字的过程中我们对扫视和凝视已经非常熟悉了。视线也可以做“平滑的追击”运动，当眼球“锁定”一幅运动图片时会对其进行跟踪。

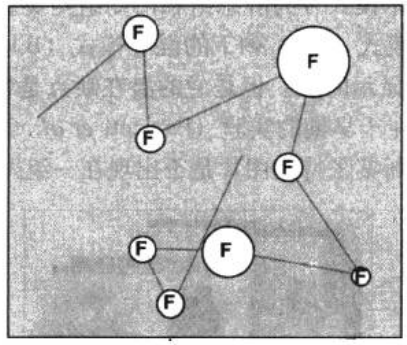


图4-46 眼球活动的简单示意图。绿色表示快速扫视，圆表示凝视（F），圆的大小表示凝视的时长（见彩图）

当我们的视线固定在显式区域的某个特定位置时，该位置上的细节信息就被注册在了视网膜的中心凹点上。在角度为2°的相对方向上的视觉是最锐利的，在该区域以外我们只能识别较大的物体。人类视觉行为的另一个特点是瞳孔直径，一般认为它受认知和感知行为等多个因素的影响。

在一组图片中寻找某幅特定图片的过程中，可以利用图4-47所示的视线探测器追踪眼球活动。安全的红外线激光束对准每只眼睛，摄像机捕捉视网膜和角膜产生的反射，经过处理后就可以识别眼球凝视的位置。



图4-47 记录眼球活动的设备。红外线激光束对准用户的眼睛，摄像机捕捉视网膜和角膜产生的反射。该设备还可以记录瞳孔直径

4.2.3 表示模式

Cooper等（2006）对图4-45所示的三种静态模式和三种活动模式的优势进行了研究。在该研究中，要求参与者判定48幅图片中是否出现一幅目标图片[⊖]，并选择他们最喜欢和最不喜欢的模式。实验结果非常有启示性。图4-48显示，对于判断目标图片是否出现，所有静态模式的精确度均高于活动模式，而流模式的精确度明显低于其他模式。图4-49显示，75%的参与者喜爱静态模式（幻灯片模式、混合模式和堆模式），只有25%的参与者喜爱动态模式，没有人喜爱流模式。当问到最不喜欢的模式时（图4-50），大多数参与者选择了运动模式，而流模式是所有运动模式中最不受欢迎的。

125
↓
126

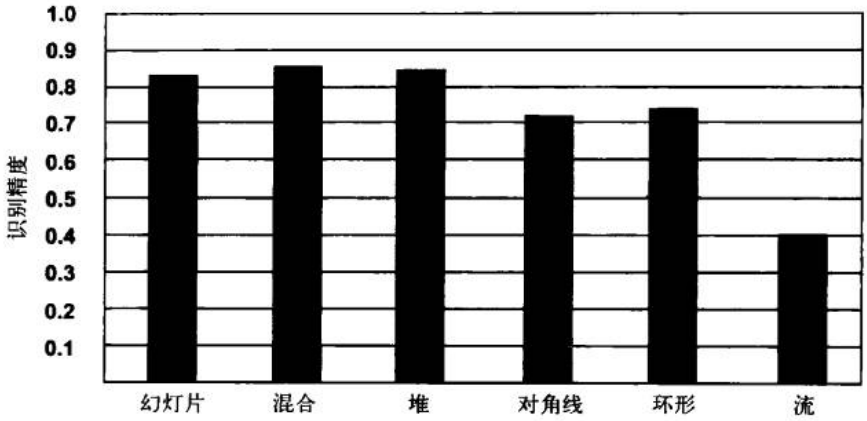


图4-48 对图4-45的所有任务和显示时长取平均后得到的六种表示模式的精确度（准确判断目标图片是否出现）

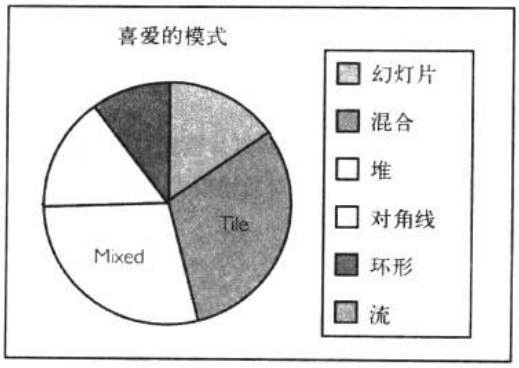


图4-49 3/4的参与者喜欢（静态）幻灯片、混合和堆模式（见彩图）

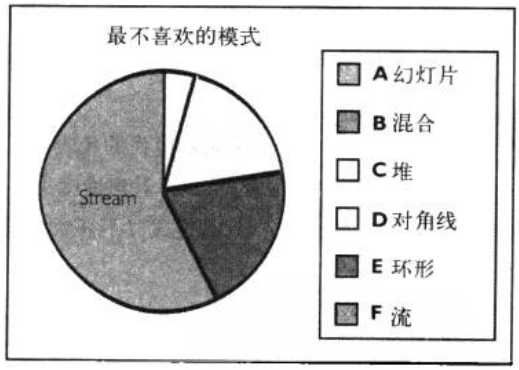
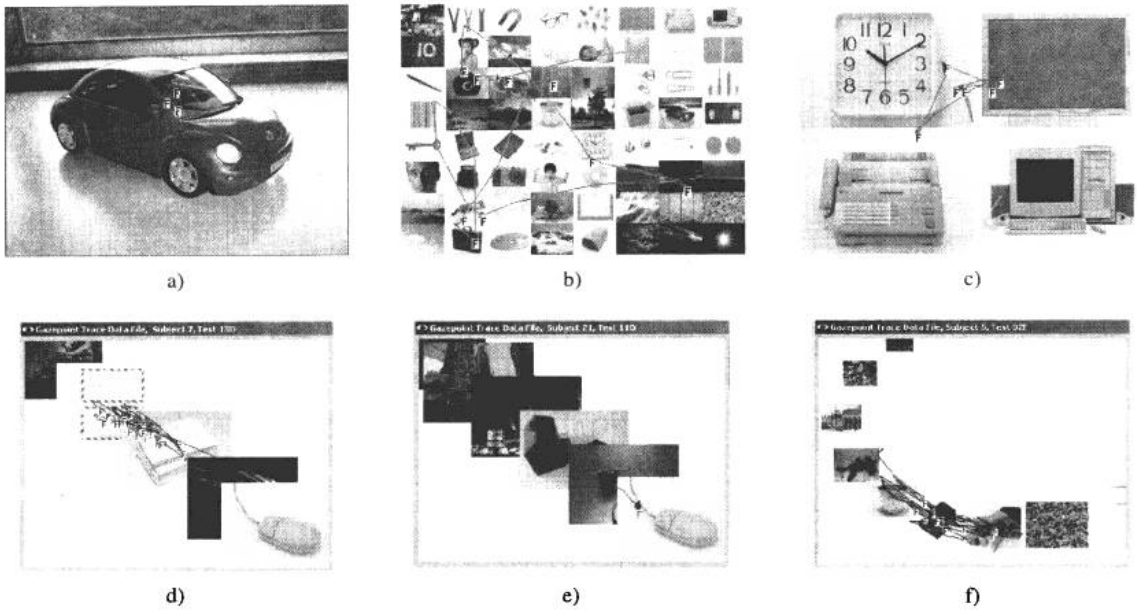


图4-50 几乎所有受欢迎的模式都属于运动模式，超过一半的参与者不喜欢流模式（见彩图）

在本研究和另一项更早期的实验（Fawcett *et al.*, 2004）中记录下的眼球活动数据特别具有启示意义。图4-51显示了一些非常具有代表性的视线轨迹（绿色表示扫视，F表示凝视）。在

⊖ 实验中使用了3种图片描述方式。对于给定的图片集表示，向用户：1）显示目标图片数秒；2）用特定词语描述该图片（如“猫”）；3）用一般词语描述该图片（如“动物”）。实验记录了3种不同的图片显示时长以比较各种不同的目标图片显示方法对实验结果的影响。考虑到著名的注意瞬脱等效应，实验者提前对用户做了警告。更多细节详见参考文献（Cooper *et al.*, 2006）。

幻灯片模式（图4-51a）中，凝视不出意外地都集中在图片的中心位置。在堆模式（图4-51b）中，为搜寻目标图片而产生的视线凝视行为和预期的一致。在混合模式（图4-51c）中，由于用户可以对四幅图片同时进行评价，这样就避免了不必要的视线凝视的产生，因此该模式下探测到的凝视行为较少。混合模式最受欢迎且目标识别精确度最高。下面我们来看看运动模式。图4-51d和图4-51e分别显示了不喜欢和喜欢对角线（运动）模式的两位参与者的眼球活动跟踪数据。图4-51d和图4-51e的明显差异说明参与者采用的视线凝视策略不仅受个人喜好的影响，也受目标识别表现的制约。值得注意的是，图4-51e中图片会在右下方出现短暂停留，在这段时间内，参与者实际进行的是幻灯片模式下的查看，因此，凝视集中于该“捕捉”位置。类似的，图4-51f所示的轨迹是一位不喜欢流模式的参与者的眼球活动数据。



a) b) c)

d) e) f)

图4-51 对图片集的六种表示模式的代表性眼球活动轨迹的数据记录：a）幻灯片模式；b）堆模式；c）混合模式；d）对角线模式（不喜欢该模式的用户）；e）对角线模式（喜欢该模式的用户）；f）流模式（不喜欢该模式的用户）（见彩图）

4.2.4 手动控制

到目前为止，我们的所有讨论都基于一个相同的假设：图片的表示速度是恒定的。但在实际应用中，用户可能希望对速度和方向均实施控制。对速度的控制使得用户可以快速定位曾经的或者当前的目标图片（例如为母亲节购买的一盒巧克力），因此出现了很多手动控制的技术。我们在图4-40的悬浮RSVP技术和图4-41的拼贴画RSVP中已经遇到过手动控制技术。和iPhoto的传统“滚动堆”模式类似，图4-16所示的诺基亚手机的图片库也允许手动控制。

127
~
128

另一种手动控制的表示模式可以建立在图片放大的基础上。如图4-52所示，这种技术应用到了MacOSX的工具栏中。在静止状态下图片集的表示可以非常紧凑，每张图片都显示为其缩略图，这样整个图片集就不会占用太多的显示区域。也可以通过图片重叠来保证其紧凑性。当光标滑过图片集时，各张图片依次放大，这样可以让用户比较容易地判定该图片是否是目标图片。这种“目标放大”表示模式的潜在优势在于静止和放大模式所占用的显示区域均较小。在

极端情况下，这种表示技术和手动控制的幻灯片模式非常类似。回顾前面讨论过的对静态和运动模式的实验结果，读者可能会思考，和图片大小的连续扩大相比，“从缩略图到最大化”的动作是否有助于图片识别，从而增强用户对该模式的偏爱程度。对目标放大技术的深入研究可参见参考文献（McGuffin and Balakrishnan, 2002）。

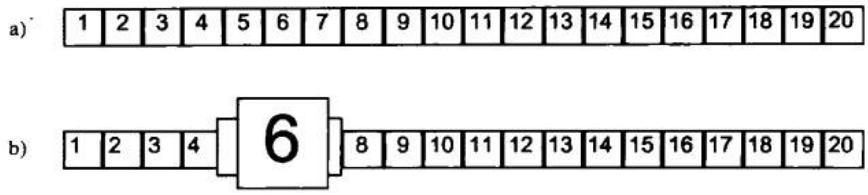


图4-52 目标扩大技术。a）图片集的静止状态；b）当光标移动到第6张图片上的状态

对图片集的手动控制和自动表示都属于复杂的设计任务。在这两种情况下都可以考虑运用前面介绍过的眼球活动知识。对支持各种任务的图片集表示方式的研究是当前的热点课题之一，可参见参考文献（Cockburn *et al.*, 2006）。

4.2.5 人类视觉行为模式

虽然我们已经积累了关于图片表示模式的大量经验，但是尚缺乏对人类视觉行为模式（该模式和信息可视化有着更为密切的相关性）的深入认识。我们认为有必要对其做一些基本讨论。例如，图4-43所示的实验（Potter and Levy, 1969）显示，即使事先没有看过目标图片，用户仍然可以有效地记住10张甚至更多的图片，进而可以精确地回答里面是否出现了某张图片（图4-53）。当然，前提是用户必须在图片集播放完成之后的几秒钟内就回答问题（Potter, 1976; Potter *et al.*, 2002）。也许令人感到意外的是，图片显示的短暂性（例如100毫秒）和几秒过后用户记忆的短暂性之间没有必然的因果关系。图4-54所示的另一项实验显示（Potter, 1976; Intraub, 1980），如果每张图片的表示之间插入一个间隔300毫秒的“视觉掩码”（visual mask），用户对图片集中是否出现目标图片的回答精确度将大大提高。

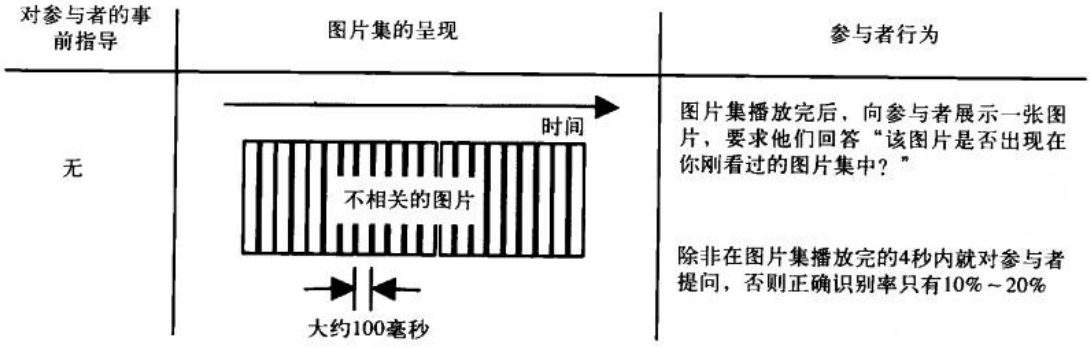


图4-53 在本实验中，参与者首先观看一组快速切换的图片（每秒显示10张图片），然后观看一张单独的图片，要求回答该图片是否在这组图片中出现过。识别率高度依赖于图片显示结束和向参与者提问之间的时间间隔

实验者和交互设计师需要注意的另一个问题是注意瞬脱（Raymond *et al.*, 1992）。对于含有以前曾看过的图片的图片集，在幻灯片出现前告诉用户“目标图片出现在黄色圆环和红色方

块后”。如果这两张图片的出现间隔在300毫秒内，目标图片将被忽略。

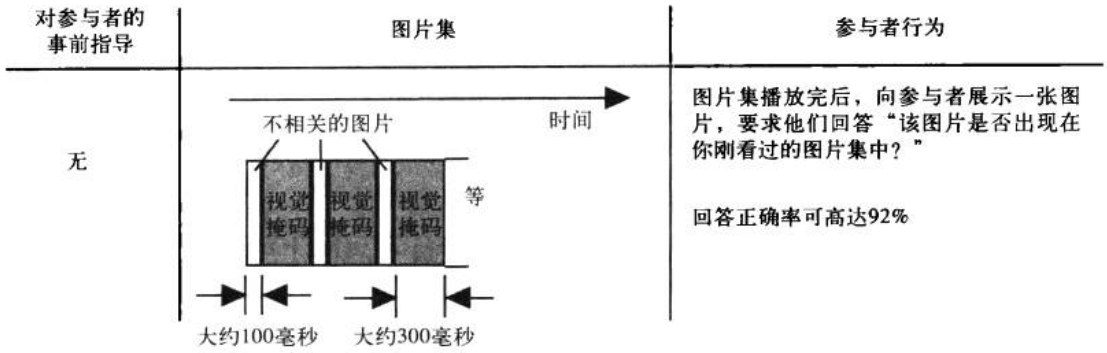


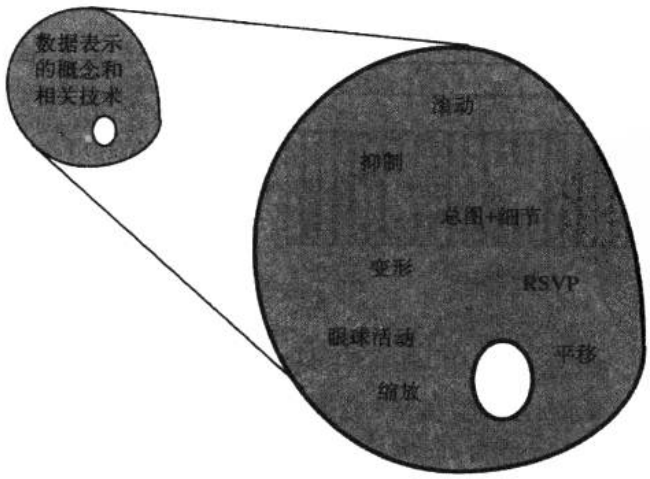
图4-54　本实验向参与者展示一个图片集。每张图片的显示时间较短（大约100毫秒），每张图片显示结束后都插入一个大约300毫秒的“视觉掩码”。在图片集播放完毕后，参与者对“某张图片是否出现在该图片集”的回答正确率大大提高

在大量关于人类视觉行为模式的文献中，Coltheart（1999a）提供了一个很好的导论，该文章提出的观点有助于加深对信息可视化的理解。在看到图片或听到声音的那一时刻和接下来的一秒钟之间的人类视觉和听觉行为同信息可视化的相关活动联系密切，这些行为发生在我们熟悉的短期记忆（Short-Term Memory, STM）和长期记忆（Long-Term Memory, LTM）之前。为了表征这个特定时间段内的人类行为模式，Potter（1993, 1999）提出了**概念型短期记忆**（Conceptual Short-Term Memory, CSTM）这一概念。

4.2.6　交互设计

在第3章末尾处我们总结了交互设计师的两个调色板。本章中介绍的数据表示的概念和相关技术填补了第3个调色板（见图4-55）。如本章中的例子所示，设计决策和数据描述、数据表示之间有着深刻的相互影响关系。第5章的内容将补充交互设计师的第4个调色板。

129 ~ 130



131

图4-55　交互设计师的第3个强调数据表示的调色板

习题

建议通过课堂讨论的形式来加深对以下习题的理解。

4.1 （复习题）分别用一句话来描述以下各种数据表示方法的本质特点：
（1）滚动；（2）总图+细节；（3）变形；（4）抑制；（5）缩放和平移。

4.2 （复习题）使用双焦显示有什么意义？使得该技术具有潜在吸引力的关键特点是什么？在实际应用中使用该技术可能会遇到哪些问题？

4.3 假设你的PDA有内嵌式GPS，因此随时可以查看“当前位置”。画出一幅带街道名字的街道地图的设计草图。设显示范围为PDA显示区域的9倍大，要求显示该区域内的当前大致位置以及感兴趣的对象（如饭店、加油站等）。

4.4 研究如何利用变形技术来支持用户的手机信息发送，同时允许用户关注其他感兴趣的对象（如通话记录和文本信息等）。展示如何利用颜色、位置和其他编码技术来增强系统的可用性。注意将变形区域内的图片大小调整为最小值。

4.5 假设城市旅游局计划为旅客或专业人士提供城市地图（例如荷兰的埃因霍温、英国的约克、德国的康斯坦兹、挪威的奥斯陆、美国的波士顿和西雅图等），要求地图内包含当地交通、景点、距离本市50～200公里的其他城市的主要交通枢纽信息。研究可供游客或专家使用的城市地图的适合尺寸，并画出基于总图+细节技术的可能的设计草图。讨论你的设计的优缺点。 132

4.6 重复习题4.5，使用变形技术来确保本地和全局信息的连续性。

4.7 图4-56展示了习题4.5的一种可能的解决办法。该方法以牺牲地理精确度换取了文化、交通、娱乐等各种活动的分类表示。十字路口图标表示步行距离。针对你在习题4.5中选定的城市，将该设计补充完整，并讨论其优缺点。（图片感谢Roel Vossen惠允。）

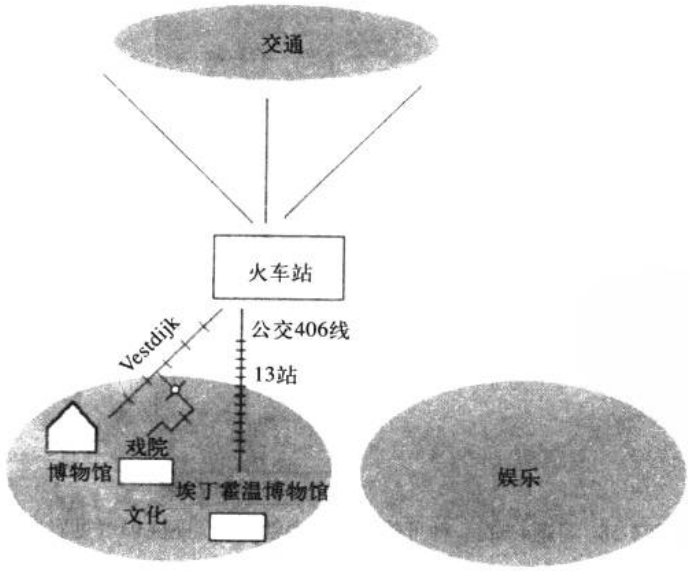
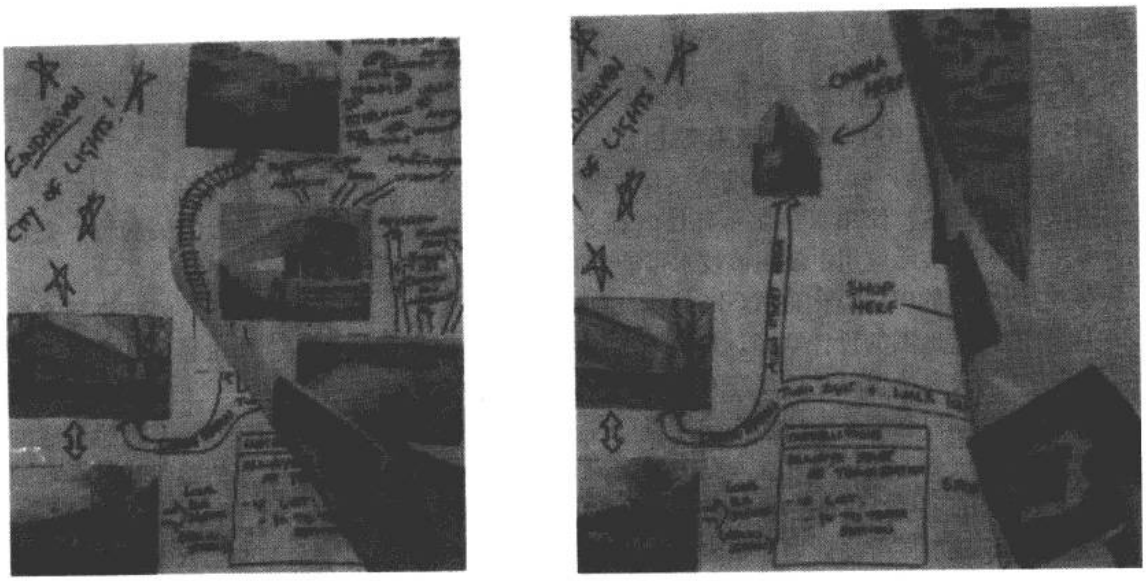


图4-56 习题4.5的一个初始解决方案 133

4.8 图4-57展示了习题4.5的另一种可能的解决办法。该图中的总图和细节通过中央火车站进行连接。为你选择的城市完成该设计并讨论其优缺点。（图片感谢Oliver Moran惠允。）



134

图4-57 对习题4.5的“总图+细节”的解决方案

4.9 图4-58展示了习题4.6的一种解决办法。用“游客魔方”的方式向游客呈现城市的总图和细节信息。魔方的一面表示局部细节，其他面展示相关的上下文信息。讨论如何保证不同面边界处的连续性，为你在习题4.5中选定的城市完成该设计并讨论其优缺点。（图片感谢Maurits Kaptein惠允。）

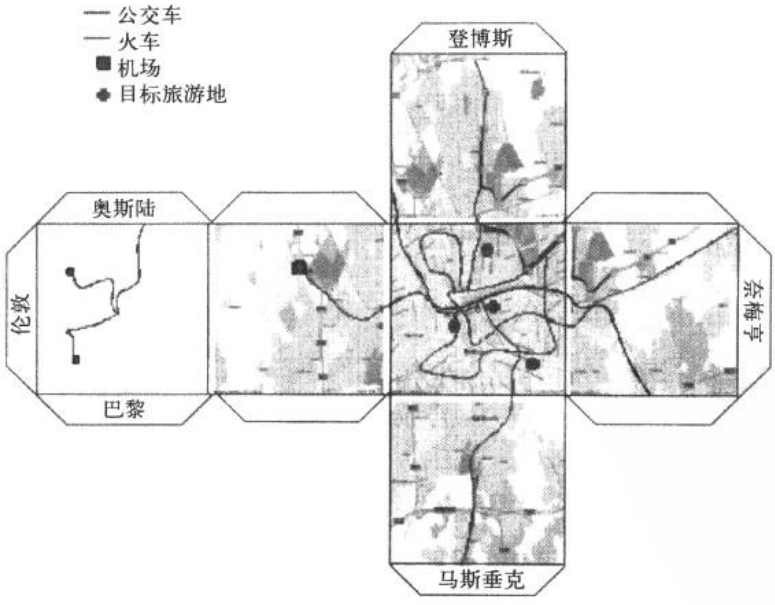


图4-58 习题4.6的一种可能的解决办法（见习题4.9）（见彩图）

4.10 假设用户想从至多500张照片中找到一张合适的给朋友看，请为此设计一个应用系统。

4.11 内容众多的树图不能一次性地显示在PDA屏幕上。请为PDA上的树图浏览设计一个应用系统。

135

交　互

通过交互改变数据集的用户视图会带来很多的好处，因此用户和计算机之间的交互成为现代信息可视化的核心。数据集通常都很大，因此一般情况下不存在能包括一切并且能带来信息启示的视图。用户想要获取信息启示就必须对数据集的某一子集进行交互式的探查，以期找到可以触发信息启示的视图。

虽然很多时候交互对信息可视化是非常重要的，但是还存在着一些问题。例如，交互涉及一系列的动作：不仅是点击鼠标等物理动作，而且包括对所见进行解释从而增强心理模型的认知成本。这样的动作是否有用？是否需要修正？是否存在不同类别的交互技术？如果存在，是否需要对不同的交互技术应用不同的设计指导原则？是否存在使某些交互技术优于其他技术的数据集？是否存在使某些交互技术优于其他技术的任务？

要回答关于交互设计的这些问题，最好首先讨论一下用户和系统之间典型的交互形式。在此基础上，我们将尝试着通过分类来讨论有关交互的一些实质性问题。

交互场景

在第一个场景中，用户走向Minard地图（图5-1），迅速为显示区域中的大部分已编码数据建立起一个心理模型。用户不需要做出任何物理举动；由于地图是静止的，因此用户可以立即读取其中的已编码数据。Minard地图中的信息是“醒目”的，但在其他的案例中可能需要对用户进行培训以帮助用户理解数据编码方案。

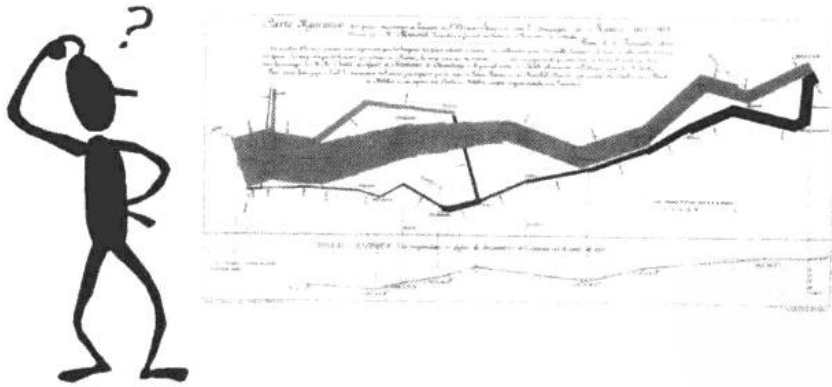


图5-1　静止图片，不需要物理交互，已编码数据立即可见

在另一个场景（scenario）中，一对夫妇在查找伦敦市内的各种娱乐活动。他们首先访问了一个在线娱乐向导系统的首页（图5-2），该页面推荐了各种娱乐活动。当选中某一类娱乐活动（如电影）后，接下来还有一系列页面可帮助用户逐步确定自己的需求。最终，在可能的几步回溯操作后，用户做出了决定。在这个例子中，需要通过类似“鼠标点击”的交互动作在离散（discrete）信息空间内的页面之间来回移动。在每个页面中用户都会进行分析和决策，整个过程可以称为“渐进式交互”。

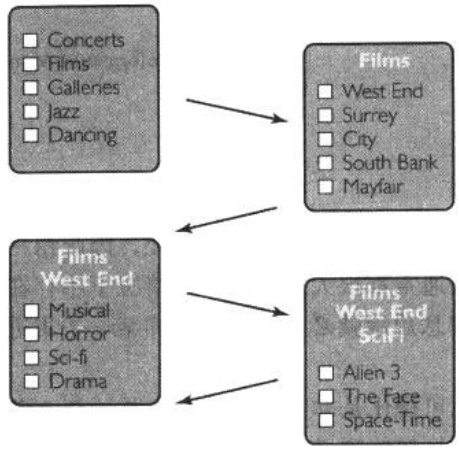


图5-2 离散信息空间，渐进式交互

在第三个场景中，一位专业的房地产经纪人使用属性浏览器（图5-3）向顾客进行住房推
137 荐。顾客对住房属性的要求在其和专业人士的对话中逐渐清晰起来。在某个时刻，顾客可能会问“如果提高预算会怎样呢？”。经纪人可以通过改变价格上限来手动观察符合所有条件的住房变化情况。由于限制条件的变化能在该系统中得到直接的反映，因此这样的探察是很有用的。经纪人甚至可以不断移动价格区间来查看价格对其他属性的整体影响。

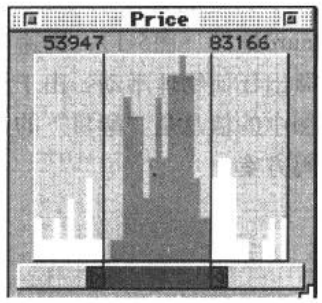


图5-3 离散信息空间，连续交互，即时反应系统

在第四个场景中，人们围坐在桌子旁喝咖啡、吃甜甜圈、讨论最新的影片。但是这张咖啡桌不是普通的桌子（Living Memory, 2000; Stathis *et al.*, 2002），它的表面是LCD显示器（图5-4），显示区域内有一些小图片在做缓慢的曲线运动。这些图片可能是加上了短语的本地公众活动的宣传照片，如锦标赛或者动物丢失启示等。在谈话过程中可能会出现这样的情景：某人无意间看到了一张感兴趣的图片，在不干扰当前谈话的前提下，他可以用手指使这张图片脱离原来的曲线轨迹。这张图片会放大，内容变得更详细（见图5-4）。大家可以评论这张图片，如果是大家感兴趣的话题，该图片可以作为该用户的标记，被“放置”到桌子中央的位置。在短暂的停顿后，交谈可以继续进行（de Bruijn and Spence, 2001）。

在这个咖啡桌场景中，在用手指将小图片移向桌子中央前，没有任何物理交互产生，咖啡桌四周的人们也不需要做任何动作。如果一张图片引起了人们的兴趣，可视化就产生了。显示屏上缓慢移动的图片构成了一个离散的信息空间。多数时候对图片感兴趣是随机的，而不是事先设定的。



图5-4 离散信息空间，移动的图片，无物理交互

在最后一个场景中，一位数字电路设计师想要检查某个部件属性的改变对整个电路性能的影响（Spence and Apperley, 1974, 1977）。该设计师向系统传送信号，想要检查放大器在基数和三倍基数范围内的放大对某个部件的影响效果。经过一段时间的计算后，设计师可以通过鼠标拖动滑块（图5-5）来手动平滑地改变部件属性。该部件当前值所对应的放大值和频率会立即反映在左边的曲线图中。通过交互，设计师可以更好地构建心理模型，也可以为该部件选定一个最适当的值，使得整个电路的性能处于最佳状态。在这个例子中，设计师探察了一个连续（continuous）的信息空间，并且受益于一个反应非常及时的系统。

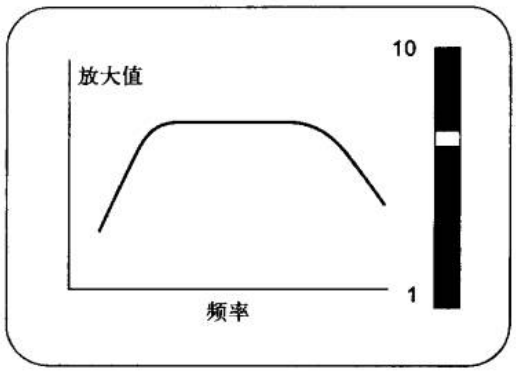


图5-5 连续性交互，连续关系，即时反应，可能会需要前期计算

空间、交互和控制平衡

我们可以从以上这些涉及信息可视化活动的场景中得到什么启示？撇开差异性，这些场景具有一些共同的特点，这些特点构成了交互分类的基础，从而可以为交互设计师提供一些基本的概念和技术。

信息空间

首先，我们观察到了两类信息空间（图5-6）。在娱乐向导系统例子（图5-2）和咖啡桌实例（图5-4）中，信息被有意识地划分为多个离散实体的集合；属性浏览器的直方图也是由离散元素组成的，每个元素对应于一栋住房。万维网也是离散信息空间。相对而言，数字电路设计例子（图5-5）中涉及的是连续信息空间：电路性能和属性可变的部件之间存在着连续的数学关系。Minard地图可以视为特殊的只包含一个元素的离散信息空间。考虑到它是某个更大的

138
~
139

数据表示的一个部分，也可以划分到连续空间类别中。



图5-6 两类信息空间

交互模式

抛开信息空间的实质差别，我们已经看到了用户与空间有大量不同的交互方式。通过以上例子可以看到计算机和用户之间存在着多种控制平衡。它有助于对交互模式的本质特性做分类(Tweedie, 1997)。我们主要讨论三类交互模式[⊖]。

设计师对电路中某个部件和整个电路性能之间的功能性关系的探察（图5-5）展示了连续交互（continuous interaction）模式。但其他很多情况下并不存在这样的连续数学关系。该分类可以扩展到属性浏览器（图5-3）这样的例子。虽然该系统基于离散信息空间，但是用户还是可以在该空间内进行连续的移动：从用户角度来看，输入设备的颗粒度（属性限定条件指示器）和数据表示（直方图）等交互结果都可以看做是连续功能（图5-7）。即使系统引入时长为1秒的延迟，用户仍然可能将活动视为连续的（Goodman and Spence, 1978）。

我们可以通过娱乐向导例子（图5-2）和对万维网的体验来讨论渐进式交互（stepped interaction）模式。在这类交互中，诸如鼠标点击等小动作可以在离散信息空间内不同地点间来回转换（图5-7）。

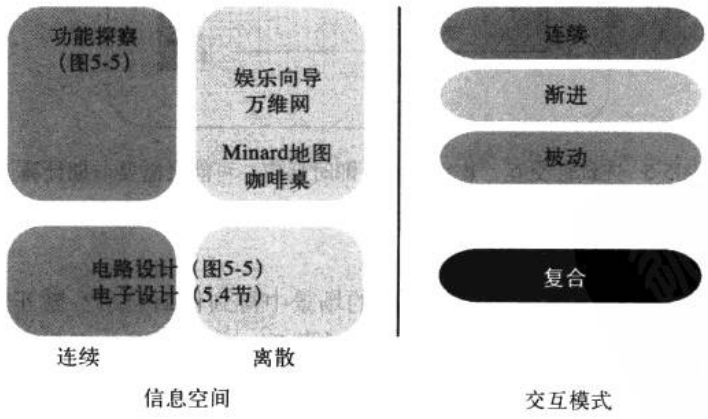


图5-7 信息空间、交互模式以及两者的结合示例（见彩图）

⊖ 对用户和视觉显示之间的交互方式的分类方法有很多。描述诸如在显示区域内通过鼠标点击或拖动来重置物体位置等交互行为的同义词有很多，如“手动”、“直接控制”、“直接投入”等。在同样的语境下，Norman（1988）使用的术语是“第一人”或“亲自动手”。Dix等（1998）对于该类交互的评论是“在用户和世界之间（显然）是没有中间媒介的”。

要对观察Minard地图（图5-1）或喝咖啡时偶然看到一张有趣图片（图5-4）所产生的用户交互（实际上几乎“没有交互”产生）进行分类是非常具有挑战性的。我们可以使用*被动式交互*（passive interaction）这个听起来也许比较矛盾的术语。交互（interaction）一词的前缀“inter”表示“在……之间或之中”，而“act”表示完成某件事情的过程。例如，社交活动是很复杂的过程，其间可能没有发生任何物理动作，因此可以用被动式交互来形容人们观察Minard地图时产生的非常复杂的视觉和认知行为。我们可以看到，被动一词并不总是意味着像Minard地图一样的静态显示：显示可以是动态的，它有助于用户在观察过程中获取大量的信息启示（见5.4节）。被动式交互也可以叫做“视觉交互”（visual interaction）或“感官交互”（sensory interaction）。

虽然将交互模式分为*连续*、*渐进*和*被动*这三类的分类方式是很有用的，实际上很多信息可视化工具使用了这些模式的混合体，因此我们把这种交互模式称为*混合型交互*（composite interaction）（见图5-7）。

用户意图

在介绍了信息空间和交互模式后，我们接下来讨论用户*意图*。例如，电路设计师（图5-5）可能在任意时刻为模拟关系建立心理模型而进行探查。他通过这样的方式来对关系或信息空间进行*学习*，这样的*探察*需求激发或引导了交互的产生。另一种情况，用户可能会查找某个特定目标，这时用户的意图是*寻找*，而随着用户对信息空间了解的深入，用户心中的目标可能随时重定义。还有一种情况：用户并没有特定的目标，只是想看看信息空间中“有些什么”，这样的活动可以称为*随机*（opportunistic）的。在咖啡桌的例子（图5-4）中，停留在某张图片上的目光可能是*无意*（involuntary）的，只是随处扫视的过程中暂停了几秒的结果，而这样的无意活动可能会引起观察者的注意！

139
~
141

浏览（也称为“仔细观察”）是涉及内容（包括定位线索）的（通常是视觉的）感知和翻译活动。根据内容可以很方便地将浏览行为限定为探察式（exploratory）浏览、寻找式浏览、随机式或无意式浏览。

本章内容

我们已经讨论了交互的三个方面：信息空间的本质、向用户提供的交互模式以及交互背后的*意图*。用户意图及相关的认知过程不在本书的讨论范围内，因此在此不做详细讨论。同样，由于对信息空间的描述通常是*既成事实*（fait accompli）的，在此我们也不讨论。我们在本章中主要讨论各种可用交互模式的特点，以及为交互设计师提供的各种可能性。

我们尚未回答的一个问题是“*是否存在为所有交互模式提供系统思考的交互框架？*”。幸运的是，的确存在这样的框架：我们将在5.1节中介绍Norman动作周期（Action Cycle）的概念。也许会令读者感到意外的是，这个概念和我们讨论过的无交互的“被动式交互”场景相关。在介绍交互框架的基础上，我们将讨论交互模式的分类，并分别在5.2节、5.3节和5.4节中对连续、渐进和被动这三类主要的交互模式进行介绍。考虑到混合型交互模式的潜力，我们将在5.5节中对其进行讨论。5.6节主要讨论信息可视化核心的“视图变换”的*动态性实质*，所有的讨论围绕着两个中心问题“变换应该多快或多慢？”和“我们能对变换的实质进行有效的设计吗？”。我们将在最后一节中强调交互设计的难度。

5.1 交互框架

许多支持人机交互的交互设计都曾经从Donald Norman（1988）提出的动作周期（Action Cycle）框架中受益。Norman定义了存在于想要达成某个目标的用户和为达成这个目标所必须改变的“世界”（通常是计算机）之间的两个“海湾”。由于这个概念的目标是一个有用的心理模型，并且必须改变的“世界”意味着对数据的某些（视觉或听觉的）描述，因此和信息可视化有着直接的联系。

图5-8所示的“执行海湾”（Gulf of Execution）反映了为改变世界（在信息可视化的范围内指数据描述）而执行的操作，“评估海湾”（Gulf of Evaluation）反映了对世界变化的解释和评估问题。每个海湾由三个活动组成（图5-8）。我们将看到，即使是相机这样非常简单和常见的工具，如果交互设计不能支持这些活动将带来很严重的后果。

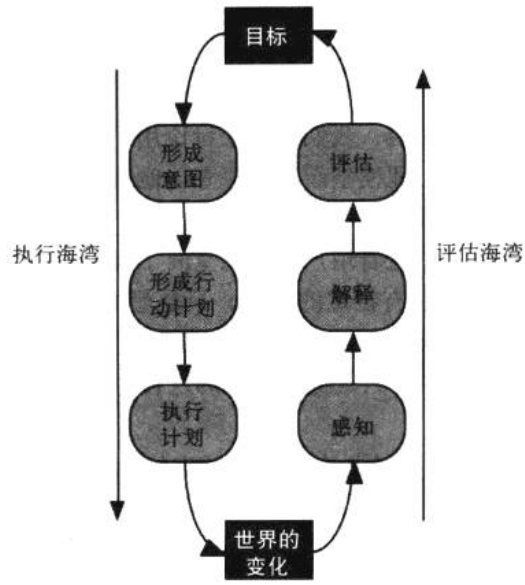


图5-8 Norman动作周期

在相机一例中，用户的目标是对某个事件做影像记录。这样用户就形成了意图去使用相机（而不是雇用一个摄影师或艺术家）。接下来的步骤是形成一个行动计划。前两个步骤均只涉及认知成本。对于相机，用户需要决定用相机的哪个部位朝向被摄对象，以及应该按下哪个按钮。对用户而言，做出这些决定并非总是容易的。例如，旧款相机的取景框和镜头控制复杂，导致很多拍摄出来的胶片都是失焦的。执行海湾中的最后一步是物理的拟定计划的执行。在相机一例中快门释放便是执行动作。某些品牌的相机在没有放置胶片的情况下也允许计划的“执行”（即释放快门）。

执行操作可能改变也可能不会改变世界。如果世界变化了，接下来就进入评估海湾，其第一步是对变化的感知。按下快门后用户能感知到的变化通常是按钮“按下”的声音，或者是取景框中的空白。这样，用户所感知到的变化就得到了解释。按键声可以提示胶片是否曝光正常，也可以表示快门的开和关。但是听到同一种声音时，用户可能无法正确判断这种声音是胶片还是快门操作产生的。执行海湾的最后一步是对已发生事件的评估。数码相机的评估是实时的，可以及时实施相应的修正措施。但如果照相的人忘记了装胶片，这个错误可能不会马上被发现。

142
~
143

相机一例说明交互设计师可以把动作周期看做是一张动作清单或整理思维的基础。我们在5.2节和5.3节中将在这个框架的基础上对连续式交互和渐进式交互进行分析。在5.4节中我们将看到动作周期的一部分（其实是只包含了执行海湾的那部分）和被动式交互的关系。5.5节将讨论混合型交互，5.6节将讨论动作周期中关于“世界变化”的部分。

5.2 连续式交互

连续式交互并不是一个新概念。自从Sutherland（1963）的开创性研究SKETCHPAD奠定了交互式图形的基础后，连续式交互的研究成果不断涌现。早期的例子多出现在统计学领域(Fowlkes, 1969)，例如转动旋钮使同概率曲线相关的形状参数发生连续变化。前面提到过的数字电路设计是目前一个较典型的例子。Newton（1978）和Becker、Cleveland（1987）等人也分别进行过这方面的研究。随着计算资源和显示技术的普及以及计算能力的提高，Williamson和Shneiderman（1992）提出了对连续式交互的极具冲击性的示例。

为了讨论连续式交互的相关概念，我们选择第3章中介绍过的属性浏览器（用作房屋购买中的住房查找）作为主要研究对象来讨论Norman动作周期如何为交互设计提供指导。

Norman动作周期里的第一步是形成意图。根据采用的策略和已有心理模型，用户可能形成各种不同的意图。交互设计师应该确保用户清楚所有可能的选择。这样的意识是可以增强的，例如，为直方图加上清晰的标签，以及清晰地显示当前的限制条件。一个可能的意图是想了解改变价格限制条件所导致的变化，另一个可能的意图是观察“湖边房屋的价格”。

执行海湾的第二个阶段形成行动计划通常是很具有挑战性的。例如，交互设计师必须保证用户明白如何调整价格的上下限。早期的属性浏览器（图5-9）就犯了这个错误：有的用户认为鼠标移动到上限箭头上（图5-9）就可以实现对上限值的修改。但实际上正确的操作是鼠标移动+拖动。有很多方法可以对其进行改进，使得它的使用方法对用户而言更加明确：例如，如图5-10所示，可以在鼠标悬停时出现对应的悬停效果。

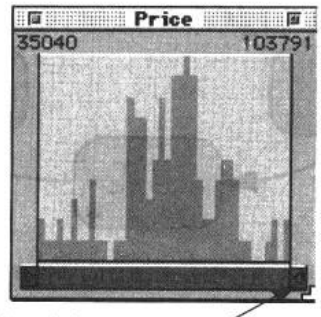


图5-9 改变上下限时产生的歧义

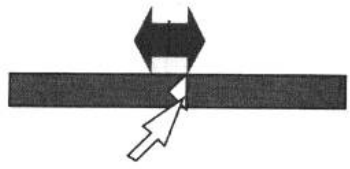


图5-10 消除图5-9所示歧义的一种办法。鼠标悬停效果提示可能的操作

执行是系统界面必须保证的第三个阶段。在保证连续式交互的很多系统中会涉及一系列的执行步骤，例如每次将价格属性限制移动一小格。执行的推动看起来是琐碎的工作，但是实际应用中并不都是这样。例如，用户在水平或垂直方向上拖动属性滑块的同时，可能会将注意力放到显示区域的其他部分，导致光标移动偏离预期的设置。因此，在拖动滑块的过程中不应该要求用户动作的高度精确性。尽管光标可能偏离标准位置，移动操作还是应该被解释为沿着滑块方向进行的。下面是设计规范有利于执行的另一个例子：当要选取的部分在直方图中相距很近时，需要对光标做精确定位。可以通过以下办法克服这一困难：当连续的鼠标点击产生在同一区域中时，将其视作对相邻部分的连续选取。

在很多连续式交互的例子中，用户竭力想为可修改的独立参数（如价格限制）和依赖性信息（如直方图中的绿色总面积或有两个卧室的住房数等）之间的关系建立心理映射（mental mapping）。用户有可能只修改一个参数，这将导致一个或多个直方图产生变化，用户感知、翻译并评估这些变化，以判断初始的意图是否得到满足。用户也可能进行一系列快速的执行动作，如逐步放宽价格限制，用以查看其对直方图的影响。前面提到过，用户处于离散信息空间内，该空间的颗粒度和探索速度使得空间在用户内心从离散空间变成连续空间。对于这样的交互，动作周期的路线可表示为如图5-11或如图5-12所示的和时间有关的函数。其导致的解释可能是“可以考虑提高预算来获得房间数更多的住房”。当评估阶段得到满意的解释时，或其他原因，交互的执行可能会终止。

144
~
145

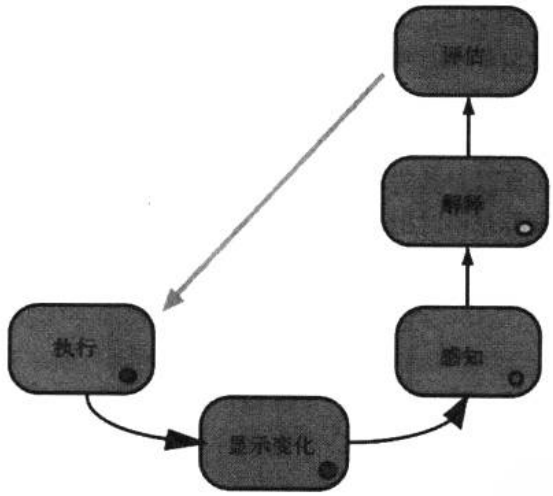


图5-11 对效果的动态探索所涉及的动作周期的各个阶段

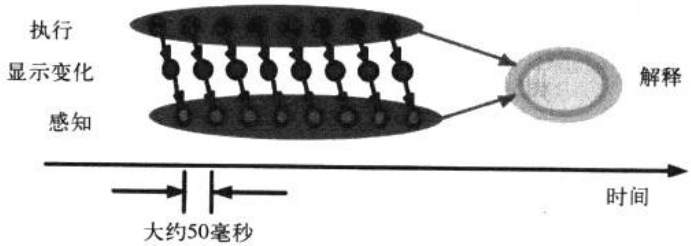


图5-12 对一系列交互和相应的视图变化进行解释，从而形成心理映射

我们还要对上述周期图做两个进一步的评论。第一，根据对“变化盲视”（Rensink *et al.*, 2000; Rensink, 2002; Rensink URL）和能获得最多细节的视网膜“中央凹点”（Ware, 2004）的了解，我们认为自动地假设用户能意识到显示区域内的所有变化这一做法是非常危险的。例如，对价格上限的微调可能会导致直方图的剧烈变化，而这个变化可能超出视网膜中央凹点所能察觉的范围。应该通过一些办法来改善这种情况。一种解决办法是，当意外的、可能会被忽略的 146
变化出现时，背景出现短暂的闪动。第二种方法其实在前面的讨论中已经隐晦地提到了，我们还是要指出（用户）输入和相关输出的同时可见性有助于交互映射的建立。

动态触发的“醒目”信息

使用连续交互的用户很快就会意识到它会导致一种同“醒目”（见第3章）类似且同样受欢迎的效果。这种效果和第3章中介绍的对象和属性的可见性及相关性等概念不无关系。下面我们将通过两个例子来说明怎样使用连续交互来使在静态显示中本不明显的对象和属性的相关性变得更明显。

我们只需要查看图3-28（在这里重复引用为图5-13）中表示敏感度的圆圈就可以看出连续交互式是如何对对象相关性做解释的。随着手动或自动拖动右边的频率范围，部件上圆圈的大小会发生相应的改变（Spence and Drew, 1971）。如果两个圆圈同时变大，对象相关性就立即显示出来了。在多数情况下还需要进一步的探察才能从中得出对设计有用的启示。

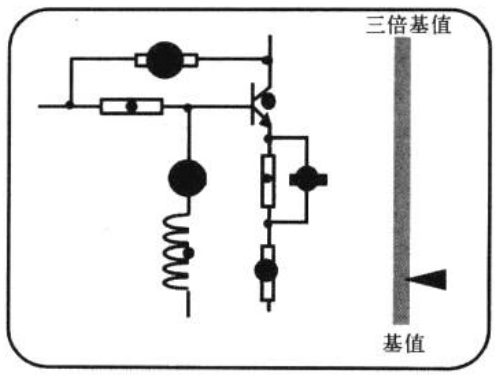


图5-13 部件上的圆圈表示该部件对电路整体性能的影响

第二个例子关注属性相关性，第3章的属性浏览器是个很好的示范。图5-14展示了四个直方图。它们来自于对某结构⊖随机选择的一组设计中某点的压力参数S1～S4的计算结果。因此，和原始的属性浏览器中的每栋住房类似，每种设计对应于一个直方图。将S4的上限从最大值降为一个较低值（图5-15a）将显示S4和S3之间可能存在的相对性。将S4的限定范围在上下限中来回缓慢移动（见图5-15b和图5-15c）也证实了二者之间的这种相对性。不需要查看直方图，可以在每个选中对象所对应的属性滑块上放上一个圆圈（其大小代表平均值，图5-16），这样就能比较容易地捕捉到平均值的变化。 147

⊖ 该例中的结构指灯泡中的灯丝。它的设计取决于设计师设定的四个参数值。在结构内最重要的是四个压力参数（Su *et al.*, 1996）。

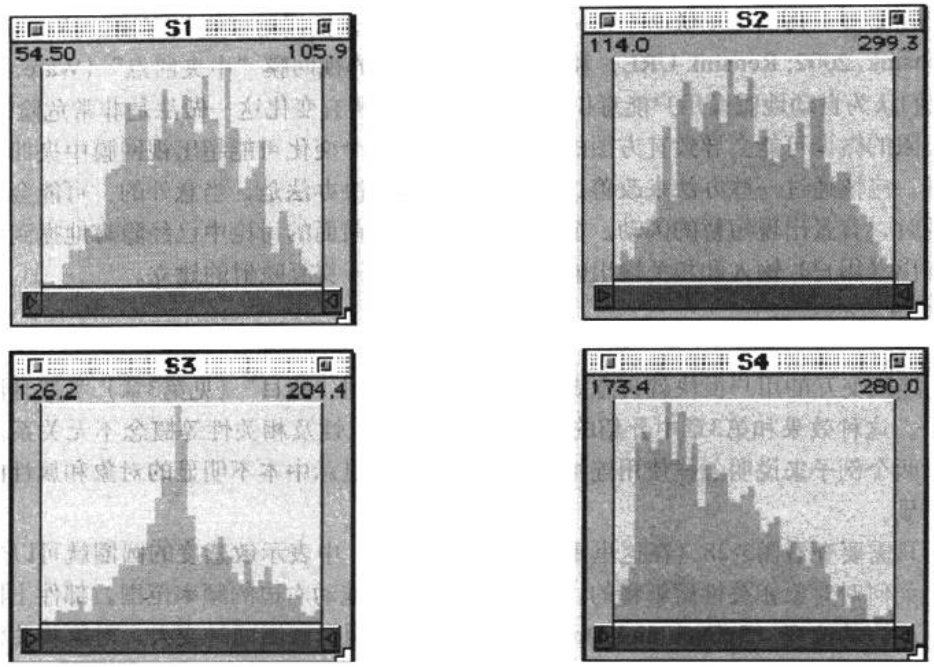
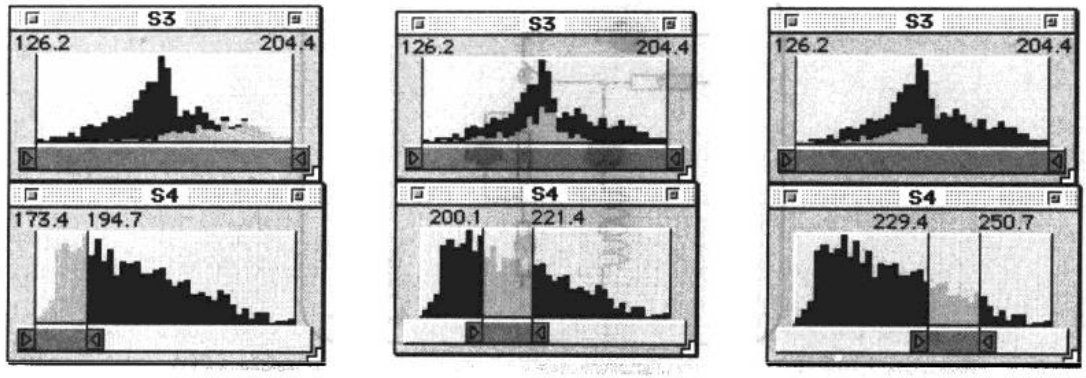
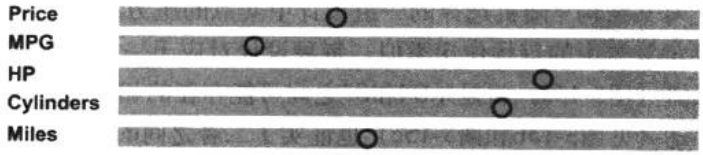


图5-14 某结构的一组设计中四个压力参数S1～S4的计算结果直方图



a) b) c)

图5-15 当S4的值增大时，S3的值相应地变小，显示了两者间可能的相对性



148

图5-16 黑色圆圈表示满足所有条件的对象的属性平均值

以上两个例子同Teoh及Ma（2005）的评论一致：

……在加入了动画的可视化中，相对于长时间间隔的两个框架，相邻的两个框架更能清楚地表示对象/维[属性]的相关性。

5.3 渐进式交互

5.3.1 离散信息空间

现有很多渐进式交互的例子，其中地点移动产生于离散信息空间中。图5-2（这里再次引用为图5-17）所示的简单例子记录了一对寻找晚上娱乐活动的夫妇所访问过的网页：为了看看有哪些可选项，同时也希望能找到一个可接受的选择，他们搜索了一系列离散的地点。其中没有涉及连续交互，虽然该信息空间不能归类为“迅速反应”类型，但是任务是否成功执行明显取决于地点切换的迅速性（但是不能过快，见5.6节）。

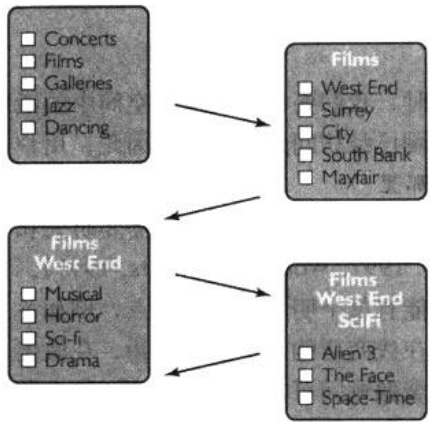


图5-17 寻找娱乐活动的过程中涉及的渐进式交互

和上面的例子不同，支持工程设计的计算机辅助设计系统提供了另一种渐进式交互。即使是很简单的芯片电路系统（如运算放大器），也可能会有至少100个部件，而设计师需要根据客户设定的至少200个属性上下限来确定各个部件的属性值。毫无疑问，信息可视化能帮助工程设计，但太大的视图数量可能导致设计师不能事前决定有用的数据视图。但是我们还是应该尽量支持设计师在离散信息空间中视图切换（即定位）的渐进式过程。 149

以上两个例子都符合Bertin（1981）的评论：

图形从来都不是自我选择的，它是决策过程中的某个时刻选择的。

万维网本质上是一个巨大的、无结构的离散信息空间，在万维网上通过浏览系列网页来解决问题的用户会对这个评论产生共鸣。

动作的不同阶段

我们可以根据Norman动作周期来分析渐进式交互存在的问题。对于连续式交互，为数据建立心理模型的目标触发了探察数据视图的离散变化的意图。第二个步骤是形成行动计划，它为交互设计师带来了很多的挑战。对于渐进式交互，用户必须确定信息空间中最有用的单个动作。针对诸如“（在离散信息空间中）我应该从当前位置走向哪里？”或“我怎样到达那里？”等问题，我们认为用户必须在离散信息空间中进行地点定位。决定和执行必需的动作将导致视图的离散变化，然后用户会对变化做出感知和解释。第3章中介绍过的数据描述的相关概念和技术以及数据表示的时间和空间局限性都和解释支持相关。

5.3.2 定位

要想支持定位，我们首先应了解用户关心的问题。很多时候需要解决的问题没有初始的精确定义，用户在未知的、无结构的、巨大的数字信息空间里所关心的问题和在未知的、无结构的、巨大的物理空间内的是一致的。虽然Wittenburg（1997）曾警告“电脑空间中的定位和物理空间中的定位是不一样的”，但用户会问的问题是一样的：

我现在在哪里？

我能去哪里？

我怎样到达那里？

周围有什么？

我到哪去是最有用的？

当考虑如何回答这些问题时，我们要认识到信息空间中的活动并不总是“向前”朝向未访
150 问地点的，也可以“向后”回溯已经访问过的地点。因此，用户还会经常问以下问题：

我到过哪里？（我想回到那里。）

我们把**定位**定义为离散信息空间内的活动，我们需要研究和定位相关的概念以及如何帮助用户进行定位（Jul and Furnas, 1997; Woods and Watts, 1997）。我们必须首先认识到用户在信息空间内定位的原因。用户可能有单个明确的已知地点，例如关于Tasmanian Devil的交配鸣叫声的信息。他们也可能会使用在线商店购买母亲节礼物，在做出决定前花费大量时间来了解在售商品的信息。电子设计师或金融顾问可能会在一系列活动中做出一些决定，从而确定最终产品。所有这些例子都涉及定位问题，即信息空间中的一系列移动。如果目标是明确的、已知的且唯一的，我们可以使用**寻路**（wayfinding）这个术语。相对的，**探索**（exploration）一词通常指用户为了解信息空间（以增强对该空间的心理模型）所采取的行动。**追击**（pursuit）一词指为找到特定目标而采取的直接行动，这些行动一般和信息空间的累积心理模型关联较少。

任何在万维网上搜寻过信息或使用过设计很差的信息系统的用户都能体会到为以上6个问题提供答案的重要性。本节中将会依次回答这些问题，我们首先从相关性较高的问题2和问题3着手。

5.3.3 敏感度

以下是一个物理空间内定位的例子（Lewis, 1994）：一位波利尼西亚的航海家在海上航行中接近了一座小岛，虽然这座岛在海平面上是不可见的，但他注意到了岛的上方飘着一片云（图5-18）。这片云可以作为定位线索，它提示了那里有什么以及如何到达那里。我们虽然关心的是信息空间而非物理空间，但我们依然在寻找回答下列问题的线索：

我能去哪里？

我怎样到达那里？

现在我们关注的是语义上下文，而不是物理关系（Dourish and Chalmers, 1994）。

这里可以使用**敏感度**（sensitivity）的概念。考虑到上述问题和信息空间中的活动以及实
151 施活动所需的交互直接相关，我们将敏感度定义如下：

敏感度：信息空间中的移动以及实现该移动所需的交互。

为了表达方便，我们将敏感度S定义为：

$$S=SM, SI$$

其中，SM表示信息空间中的移动，SI表示实施该移动所需的交互。下面我们通过两个例子分别针对物理和信息空间来讨论敏感度概念及其两个组成部分。

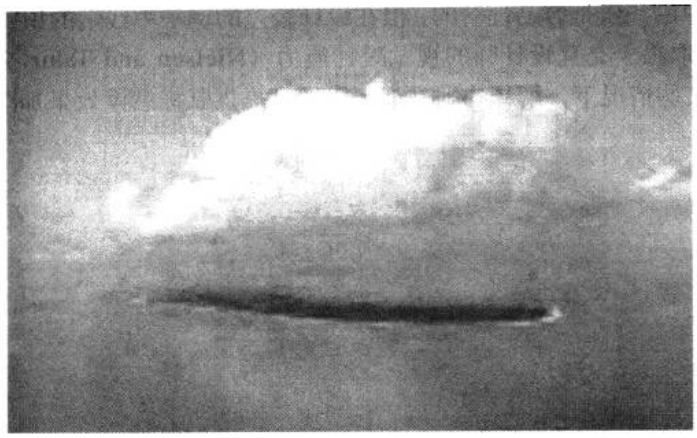


图5-18 小岛在水平面上不可见，但它上方的云提供了定位线索

图5-19展示了一道可供人通过的门。门上的标签可以看做是SM，因为经过解释后人们明白穿过门就可以喝到咖啡。实施该活动（穿过该门）所需的交互（SI）由门的外观决定：门不能拉开，平整的门板明白地告诉[⊖]我们推开门就可以通过。SI实际上是我们所知的预示性（affordance, Gibson, 1977; Norman, 2004）[⊜]。任何物理空间的设计师都明白保持用户感知到 152
的预示性和实际预示性一致的重要性，旅店内的淋浴控制器就是一个很好的例子。

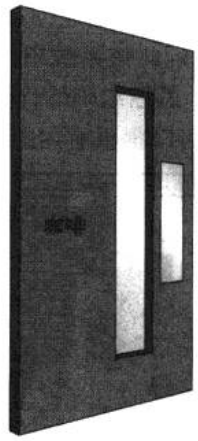


图5-19 标签“咖啡”和平整的门板提供了定位线索，告诉了用户能去哪里（咖啡）以及怎样去到那里（推门）

图5-20显示了标题为“假期去哪里”的网页的一部分内容。页面上有五个加有标签（英国、

⊖ 在某些国家可能不是这样的。门的两面都有把手，并且各有一个写着“推”或“拉”的标签。在没有指示的情况下，可能会用到复杂的策略才能明白预示性。

⊜ 预示性的概念首先由Gibson（1977）提出，它指人类和“世界”之间的交互。我们可以认为图5-19中的门的预示性是通过“推”将门打开。这也是门的实际预示性。很明显，为了使人们能轻松通过，用户感知到的预示性应该和实际预示性一致。Norman（2004）也对预示性进行了讨论。

欧洲等）并区别于背景的区域。可以根据不同的假期类型通过它们移动（SM）到其他页面。对应区域内的鼠标点击（SI）可以实现到不同页面的移动。因此，这些线索同时包含了SM和SI信息。有些例子中的线索是容易理解的，但在设计较差的例子中线索的识别和解释是困难的。线索理解的难易度取决于交互设计师的视觉设计能力（Nielsen and Tahir, 2002; Wildbur and Burke, 1998）。在某些情况下，解释的困难度可以通过提供鼠标悬停效果加以解决。



图5-20 某网页的部分内容。每个标签及其周围的黑色区域表明根据假期类型在区域上点击鼠标（SI）可以切换到对应页面（SM）

第3章中介绍过的属性浏览器显示了对敏感度信息的编码方法。基于住房的三个属性，
153 图5-21中的黑色表示仅不满足6个属性限制中的1个的住房，灰色对应仅不满足2个限制的住房，以此类推。我们看到在这样一个数量庞大的集合中，交互设计师并未对每栋住房使用一个单独的线索来表示活动（SM）。考虑到用户通常会通过缩小考察范围来将精力集中到少数住房上，而且改变属性限制可能带来潜在变化，因此该系统用黑色表示仅不满足1个属性限制的住房。所有的SM都可以使用类似的编码方法。黑色编码的优势在于即使条件苛刻导致没有绿色住房出现，在限定范围外围的黑色住房还是可以提供有用的线索：要放松限制绿色住房才能出现。

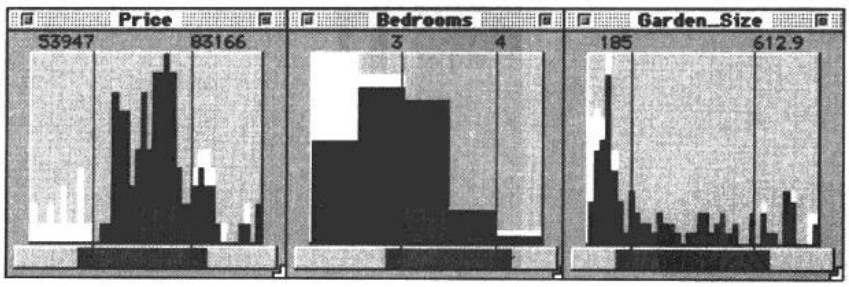


图5-21 黑色编码表示仅不满足1个属性限制的住房，它提供了敏感度信息（见彩图）

限制定位机制（Ahlberg, 1996）是对敏感度做聚合的一种非常简单的编码方式（图5-22）。该技术最早出现在**动态查询**（dynamic query）界面中（见图5-22），现在用于Spotfire™的可视化工具（Spotfire）中。滑块的白色部分是对所表示信息没有影响的上下限的边界值。当在灰色区域内改变限制值时会引起信息空间的移动。该编码技术可以有效地回答“如果……会怎样？”（简单地说，“如果……怎样”）的问题。该编码机制起到了很好的启示作用，对于有些“如果……怎样”的问题，答案可能是“没有变化”。

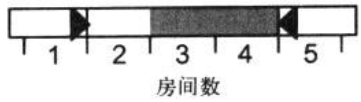


图5-22 在限制定位工具中，颜色编码表示选择是否会产生效果。当前下限位于不会产生效果的白色区域内。如果限制条件进入灰色区域则会导致变化效果

敏感度信息的价值可以在以下例子中得以体现：相关信息立即可见，但是不可使用。图5-23显示的是利用动态查询界面（Williamson and Shneiderman, 1992; Ahlberg, 1996）进行住房查询的系统。该系统用于帮助用户进行住房购买。地图中的点表示满足用户设定属性条件的住房。这里最大的缺点是当没有满足要求的住房时，界面不能提供敏感度信息，这导致用户不知道如何改变属性值来使地图中出现可能会被接受的住房。相应的，只能在依次调节了每个属性后才能形成对满足条件的住房的心理模型。尤其当属性多于10个时，该操作将是很耗时的。 154
特别当找到满意住房所花费的“非直接”探索多于直接操作时，该方法的缺点显得尤为突出。动态查询界面过滤（并且隐藏）信息，而属性浏览器根据用户兴趣对所有数据进行编码。如图5-24所示，可以容易地在动态查询界面中引入“黑色住房”式的敏感度线索，它支持“先看再走”（see and go）策略。如果没有敏感度线索，用户只能执行麻烦的“先走再看”（go and see）策略。

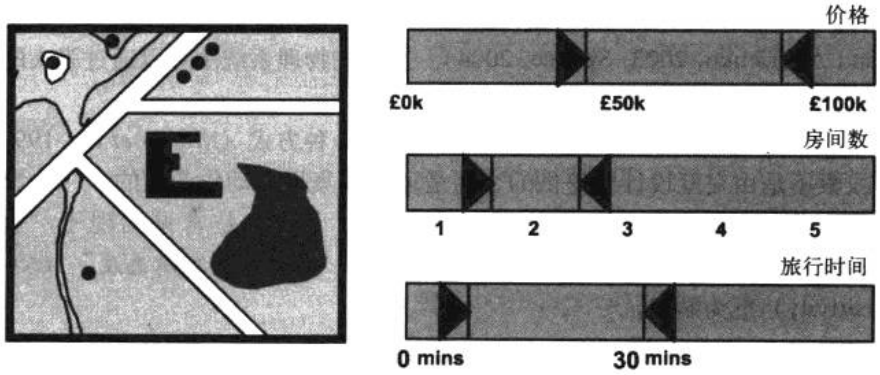


图5-23 动态查询界面。地图上的点代表满足用户设定的属性限制条件的住房

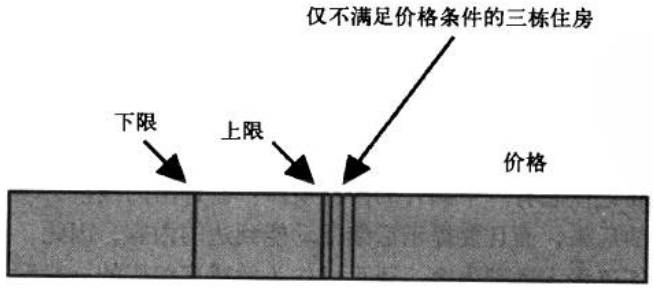


图5-24 对动态查询界面的修改。灰色线条表示仅不满足一个条件的住房。和只能通过手动改变限制条件来显示敏感度信息相比，该方法更明确地传递了敏感度线索

第2章中介绍过的信息可视化的商业应用EZChooser（Wittenburg *et al.*, 2011）可以很好地反映敏感度的作用。该系统用于支持在线销售，用户可以根据属性值从集合中选择某个对象。

图5-25显示的是在第2章中介绍过的关于汽车销售的实例。边界图标代表仅不满足一个要求的汽车。6.2节将详细介绍EZChooser的开发过程。

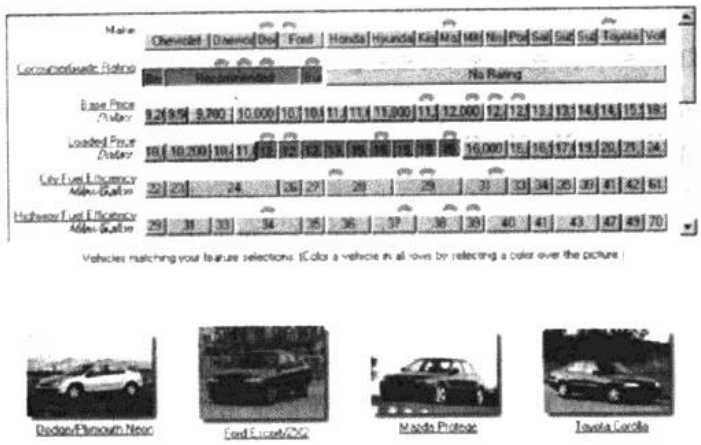


图5-25 在EZChooser中，图标代表仅不满足一个要求的汽车。选中图标下方的属性值可以立即将该车纳入满足所有条件的范畴

在有些情况下，敏感度信息虽然不能直接显示，但可以通过计算得到，可以参见参考文献（Andrienko and Andrienko, 2003; Spence, 2004）。在一些物理系统中可以通过强大的算法来进行敏感度计算（Brayton and Spence, 1980）。

社会定位（social navigation）是激发用户兴趣的另一种方式（Munro *et al.*, 1999; Hook *et al.*, 2003）。线索不是由交互设计师提供的，而是通过收集用户动作产生的，它会影响用户对目的地的选择。“购买了这本书的顾客同时也购买了……”是常见出现于“推荐系统”（recommender system）中的线索。这里的线索实质上叫“推荐产生的敏感度”（recommender-generated sensitivity）更为贴切。

5.3.4 残留物

我们对敏感度的定义建立在信息空间内页面切换的单个移动这一前提下。通常用户在问题得到解决前会访问一系列页面。在这个过程中，用户会不断地问“周围有什么？”，因此，通过线索对活动进行描述（SM）可以额外地提供当前单个移动的周边信息，从而有助于定位过程的进行。Furnas（1997）正是基于这个原因提出了残留物的概念。我们将其定义如下：

残留物（residue）：对SM编码的远端内容的提示。

这里的“远端”指从当前位置采取多于一步的移动才能到达的内容。残留物对用户是有用的，但交互设计师一定要记住它有一个额外的前提条件：设计出的线索必须能够使用户正确识别信息空间中单个移动的后果，而且要提示后续活动能到达的内容。因此，当敏感度信息扩展到多步移动时，残留物不仅表示远端内容，还可以作为敏感度编码的一般形式。由于通常倾向于将“远端内容”理解为未访问过的内容，因此通过返回键等方法允许对已访问内容的重访问是很重要的。支持定位的设计应该在保证残留物的同时允许访问和重访问。

155
~
156

我们可以通过一个层次式的、基于菜单的动物信息系统来加深对残留物和敏感度的理解。图5-26显示了该菜单系统的最高两层内容。动物种类按层次排列以方便对某种特定动物的查找。

在菜单系统的顶层，*哺乳动物*是四个可选选项之一，鼠标点击该选项可以进入下一层和各种哺乳动物有关的菜单。因此，菜单选项“哺乳动物”同时包含了SM和SI信息。作为残留物，它也表明了所有哺乳动物都可以在对应的第二级及以下菜单内找到。例如，位于“猫”菜单下的阿比西尼亚猫在顶级菜单中的“哺乳动物”一项中有残留物。

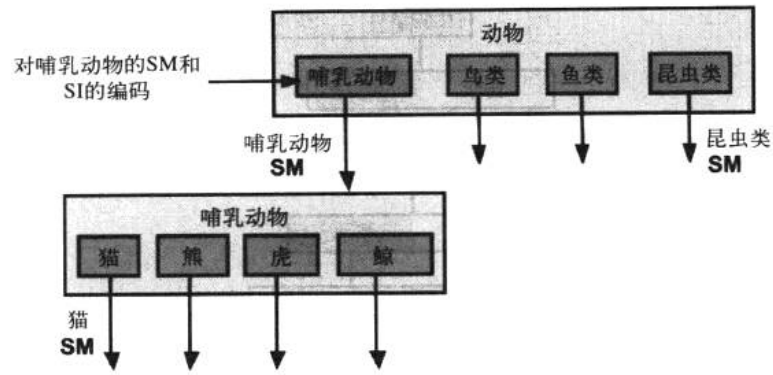


图5-26 层次结构的、基于菜单的动物信息系统的最高两层内容

正是由于采用了动物信息空间的层次结构，“哺乳动物”标签才能同时表示残留物和敏感度信息。而在万维网等非结构化的信息空间中，在某个页面中加入阿比西尼亚猫的信息并不会为很多其他网页（如果存在的话）提供残留物。即使是使用层次化的菜单结构，残留物的设计也可能不是直接的：例如，用户的知识不可能很全面，这可能导致在寻找鲸鱼的过程中错误地选择“鱼类”。

如果读者对定位设计中残留物的重要性还存有疑问的话，Snowberry和她的同事的工作成果（1983, 1985）提供了最具说服力的证明。Snowberry等（1983）研究了层次结构的菜单系统的定位状况。实验参与者被要求在包含64个英文常用词汇的层次结构数据库中找到一个目标词汇。考虑到64对应于8^2、4^3以及2^6，研究者分别对宽而浅以及窄而深的菜单结构做了实验。图5-27显示了在2^6菜单中找到目标词汇“枪鱼”所需经过的直接路径（不含回溯路径）。

实验中首先向每位参与者展示一个目标词汇，然后要求他们在不回溯的前提下做出正确的选择直至找到目标词汇。图5-28显示了在2^6菜单结构的各层上出现的错误（即不正确的选择）率。毫无意外，多数错误发生在最顶端两层，这凸显了为相隔一定距离的目标提供残留物的困 157
难度。在另外一个独立实验中，研究者分别探索了宽而浅以及窄而深的菜单结构。图5-29的结果显示错误率深受菜单结构的影响（$p<0.0001$）⊖，从而清晰地反映了宽而浅的菜单结构可以在较高层次上为目标词汇提供很好的残留物。Snowberry等人以外的关于层次结构的其他研究可以参见参考文献（Norman and Chin, 1988; Norman, 1991）。

Snowberry等人进一步研究了*帮助字段*（help field）的作用（Snowberry *et al.*, 1985）。图5-30是一个帮助字段的例子。在每个可选项下方均显示了一些字段，它们代表着选择该选项后在下一级菜单中将会出现的选项。这些字段可以起到对上级选项的解释作用，从而提供了残留物。这个例子需要研究的中心问题是各选项和相关帮助字段是否有助于形成残留物。除提供敏感度线索外，鼠标悬停效果有时也可提供额外的残留物。

研究发现，在2^6菜单结构中使用帮助字段只带来了8%～10%的错误率，而没有使用帮助字

⊖ p=0.0001表示所得结论为偶然的概率是1/10 000。

段的错误率高达22%～28%，从统计学角度上看，这个差异是显著的（$p<0.001$）。这说明帮助字段在各层上均能有效地提供残留物。

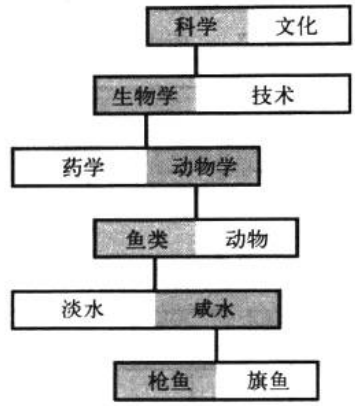


图5-27 在2^6菜单中找到目标词汇“枪鱼”所需经过的路径

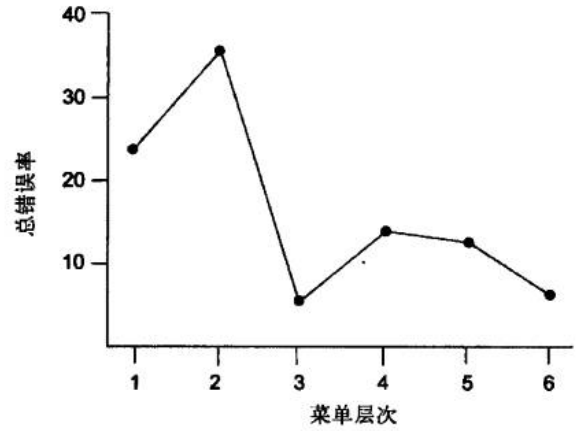


图5-28 在窄而深的2^6菜单结构中查找低层次目标词汇的错误率

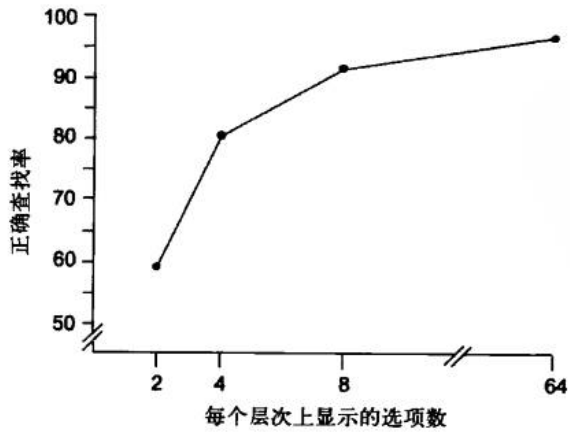


图5-29 同菜单结构相关的查找正确率

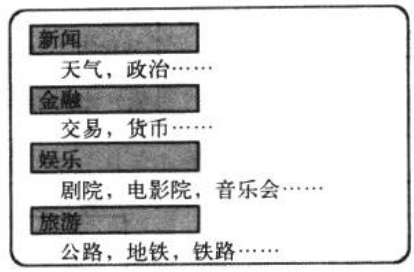


图5-30 引入帮助字段的菜单系统，来自下一层次的帮助字段有助于提高对菜单选项的解释的正确率

5.3.5 气味

目前为止，我们已经讨论过了设计线索的必要性。加入了敏感度信息和远端内容的线索可以提高正确解释的概率。对线索进行解释的原因在于，如果用户从可执行的移动中选择了一个移动，紧跟解释的下一步操作就是评估。因此，用户必须评价每项可能移动SM的益处。这里需要回答的问题不仅是：

158
~
159

我能去哪里？

更重要的是：

我到哪去是最有用的？

基于上述考虑，研究者引入了气味（scent）的概念（Pirolli and Card, 1999）。气味的定义如下：

气味：在对一个或多个线索的解释评估基础上，感知到的信息空间中某移动的益处。

“气味”一词最早来源于生物学领域的培养理论（Stephens and Krebs, 1986），现扩展到信息搜索领域（Pirolli and Card, 1999）。“益处”一词隐晦地提示了信息空间内进行某移动所付出的“代价”。

我们应该充分认识到气味的评估会决定在信息空间内下一步该去的目的地，这是一个高阶认知过程（见图2-17）。它可以为用户对信息空间的现有（通常是多变的）内部模型以及（虽然经常是多变的）相应策略的调整提供参考。用户可以通过探察来增强对信息空间的心理模型，也可以重定义目标或尽可能直接地朝着暂时或最终目标移动。很多情况下用户会遇到这两者的组合。因此，气味涉及建立模型和形成策略等具有较高复杂度和认知度的活动。虽然交互设计师可能已经深刻认识到了这些高阶认知过程的重要性，但是对他们而言最基本的还是一般性指导原则。现有网页设计领域的研究（e.g. Chi *et al.*, 2001）试图利用气味这一概念来对用户目标、交互行为和可见线索进行数学建模。图5-31显示了敏感度、残留物和气味之间的关系。

虽然气味评估涉及复杂的认知过程，但是可以通过一些简单的编码来实现有效的气味评估。Model Maker（Smith *et al.*, 2001）是气味评估的有效编码支持的一个很好的示例。它是专门为非统计学专家设计的一个工具，用于给定点的多项式拟合。图5-32显示了6个点及其对应的X和Y值。由于对这六个点的拟合可能很复杂，并且需要其他X值所对应的Y值，因此需要为X和Y的关系建立一个数学模型。如图5-33所示，因变量Y通常是和很多自变量相关的函数。

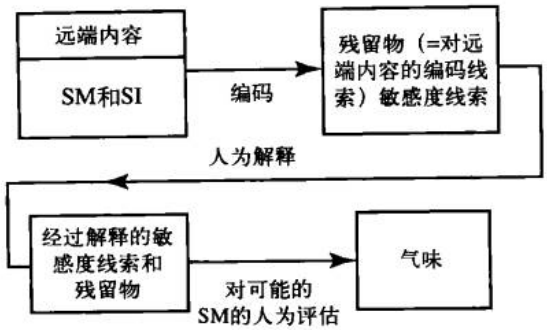


图5-31 敏感度、残留物和气味之间的关系

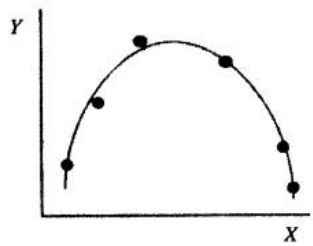


图5-32 6个不同的X值所对应的Y值。需要为X和Y的关系建立一个具有一定精度的数学模型

$$Y = a+bX_1+cX_2+dX_3+eX_1X_2+fX_2X_3+gX_3X_1+hX_1^2+jX_2^2+kX_3^2$$

图5-33 因变量和自变量间的一种典型关系

现有软件（如GENSTAT工具集）通过计算相关系数值（如图5-33中的a、b、c等）为原始点找到最优匹配。然而，模型所涉及的各项数需由该领域的专家来选择。根据个人理解，专家也许知道项数X_1X_2可能不相关，X_1X_3可能相关。Model Maker可以帮助用户决定最终引入模型的项数（见图5-34）。多项式的每个可能的项数对应于一个小盒子，图5-24对应一个有4个自变量的最高为三次的多项式。圆的大小表示各项数对拟合过程的贡献。黑色圆圈表示对应项已纳入模型，白色反之。引入这些圆圈的目的在于通过观察增加或移除各项带来的变化来实现对气味的评估。盒子也传达了SM和SI信息：在盒子上单击可以将对应的项加入模型或移除。

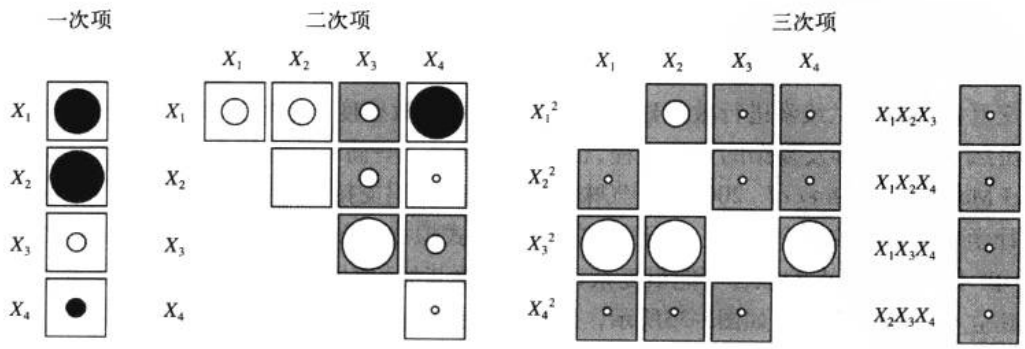


图5-34 Model Maker界面

在图5-35中，选中菜单项的大小表示对应选项在数据集中所占的比例。另外，颜色编码可

以代表每个选项的流行度。虽然这是一个很简单的例子，但它有可能不会被直接执行，这是因为用户总会在对所有可能的SM以及相应会带来的益处做解释后才做出活动决策（Nielsen, 2000）。

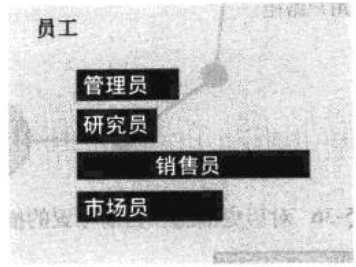


图5-35 支持气味评估的编码

属性浏览器是支持气味评估的第三个例子。黑色房屋离不满足的单个限制条件的距离可能会导致用户对限制条件的调整。

5.3.6 我现在在哪里

可能读者会觉得奇怪，为什么我们最后才来讨论“我现在在（信息空间中的）哪里？”这个问题。在有合理线索设计的前提下，我们已经回答了以下问题：

我能去哪里？

我怎样到达那里？

周围有什么？

*我到哪去是**最有用**的？*

我们能做的不只是让用户了解信息空间的本质以及他们当前所在的位置。

160 ~ 162

面包屑（breadcrumb）一词很适用于这个语境，它来源于一个关于Hansel和Gretel的故事：在穿越森林的途中，他们在经过的路上洒下面包屑用以回溯走过的路径（由于他们没有做回溯，这些面包屑的功能没有得到使用）。面包屑代表着历史。与此相关的一个问题是：

我去过哪里（因为我想回去）？

路径和位置是两种常见的**历史信息**。

1. 路径历史信息

路径历史信息记录了用户在信息空间内最近经过的路径。图5-36显示了该路径及用户的当前位置。正如我们已经指出的，回溯是信息空间中的常见活动，因此不仅应该对最近经过的地点编码，还应该用同样方法对SI编码，这样才能通过交互较为容易地实现选择性回溯这一信息空间内的常见活动。例如，万维网上60%的活动都是*重访*问已经访问过的（经常是最近访问过的）页面（Tauscher and Greenberg, 1997）。用户访问的下一个页面是6个已访问页面其中之一的概率是39%。正如Tauscher和 Greenberg所评论的，“回溯控制对下一访问页面的预测非常有用”。因此，在支持定位的交互设计中，敏感度和残留物的设计将受益于基于历史信息的重访问。

显示在回退按钮（它是应用最广泛的用户界面部件（Cookburn *et al.*, 2002））旁的最近访问过的URL是支持选择性回退的一个简单示例（见图5-37）。尽管用户对已访问过的URL的内部模型可能比较粗糙，但他们仍然可以识别出这些页面的外观（Kaasten *et al.*, 2002）。因此，有下拉菜单特别是可放大缩略图的图形历史信息（图5-38）可以有效地支持重访问。支持重访

问的设计涉及信息可视化，是个具有挑战性的任务。

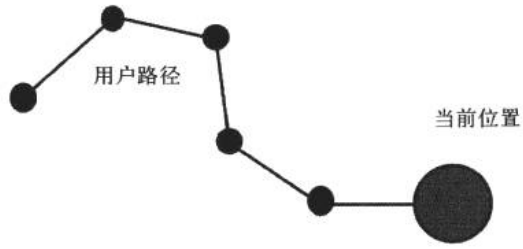


图5-36 对历史信息和当前位置的描述



图5-37 最近访问过的URL列表

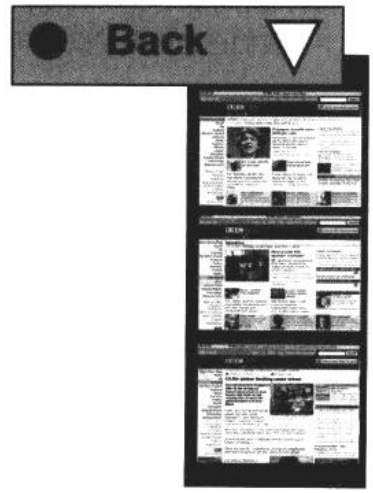


图5-38 最近访问过的页面的缩略图。该集合可以提供很好的定位线索

“路径历史信息”从一定程度上告诉用户“他们在信息空间中的当前位置”，并且为该空间的本地细节信息提供了部分视图。当前位置通常和外部链接相连（如图5-39所示），可以帮助用户明确在空间中的位置。

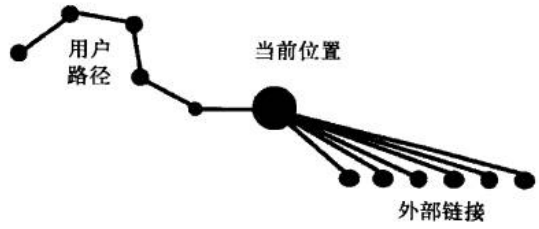


图5-39 在离散信息空间中从当前位置能达到的路径

2. 位置历史信息

一旦用户处于一个网站内部（例如组织或公司网站），他们不仅应该看到该空间的结构，还应该能在该结构中较为自由地活动。因此，如图5-40中的红色编码所示，网站结构可通过对结构中可能位置的编码得以体现。为了方便访问，可以为这些描述提供交互（例如可对SI编码）。图5-40中蓝色编码的外部链接表示结构外可达的地点。由于用户不能改变位置历史信息，因此面包屑一词在本例中的相关性可能还值得商榷。

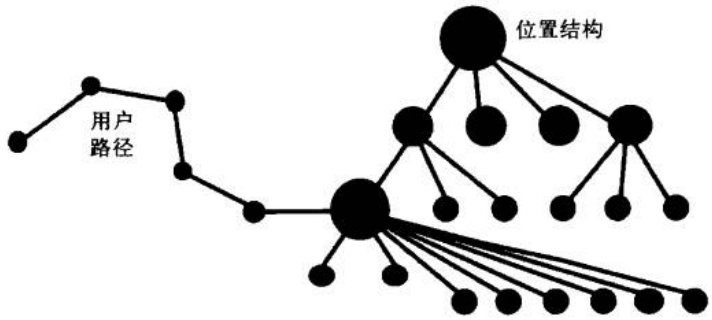


图5-40 位置历史信息（红色）提供了结构信息，同时也显示了用户当前位置（见彩图）

将某个地点内的路径历史信息明确显示是很有用的。图5-41是一个网页示例：网站入口是“Poole”而非“Fine Hotels”，从这里用户可以扩展访问范围。决定是否使所有位置历史信息变得可交互从而增强额外的SI并不是一个容易的任务：交互设计师还要综合考虑网站设计的其他要求。位置历史信息的提供和设计需要特别注意一个不常见但可能令人沮丧的问题：搜索引擎返回的页面只提示“我的观点是……”，而没有提到作者或与之相关的组织或公司信息。结构的交互式改进是非常有用的。



图5-41 某网站内的路径历史信息示例

3. 实验研究

Field和Apperley（1990）的实验可能是对路径历史信息及其效用的最早且最全面的实际研究。为了在较大的非规范的菜单系统中通过定位来解决涉及多个选项的复杂任务，该研究移去了Snowberry及其同事的研究中设置的很多限制条件。他们通过探索、支持回溯（通过交互历史信息得以实现）等Snowberry研究中特别禁止的方法来增强系统的实用性。该实验针对的信

息空间是“videotext”数据库，它描述了虚拟城市Carlton及其夜间娱乐活动（如旅行、看电影、素食餐厅等）信息。

Field和Apperley比较了图5-42所示的两个菜单系统。左边的是标准菜单，允许在主页或刚访问过的页面中进行菜单选择或短命令操作。右边的叫选择性回溯，不仅展示了每层上所有可选项的历史信息（即路径历史信息），也允许通过数字选择来进行回溯。

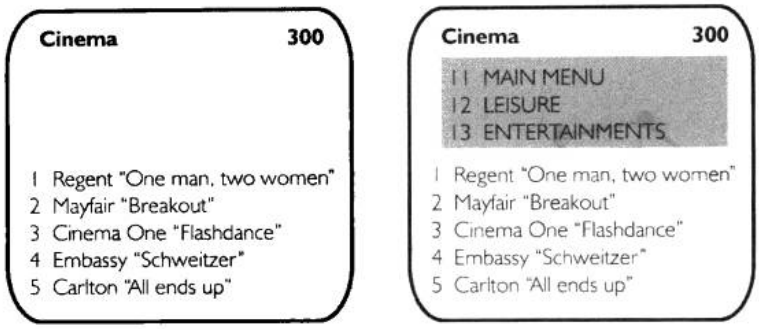


图5-42 经过Field和Apperley（1990）比较的两种菜单系统

我们在这里不讨论该实验的大量实验结果和结论。例如，两种菜单系统中评估过的页面数存在着较大的差异（标准菜单50.3，选择性回溯菜单39.7）。如果将“效率”定义为“距离目标的最小页面数/实际页面数”，则两种系统的效率分别为51.3%和63.3%。

165 ~ 166

在我们的讨论范围内，Field和Apperley实验中最重要的结论是使用选择性回溯结构的用户对数据库的复杂度有着更好的理解，他们对Carlton城有着更好的上下文认知（即内部模型）。正如Dahlback（1988）所提醒的，定位不仅是对信息空间的学习，更是对它的使用。

5.3.7 支持定位的设计指导原则

我们在本节中介绍了敏感度、残留物和气味以及相关典型例子。对“交互设计师如何利用这些概念？”这一中心问题的简要回答是，虽然这些概念可以指导支持定位的交互设计，但并未指定交互如何进行。原因很简单：网页设计受很多因素制约，而定位是其中很重要的因素之一。当我们关注定位时，有很多和定位线索相关的技术，而视觉/图形设计是其中的重要技术之一。因此，即使优先考虑其他因素，敏感度、残留物和气味等概念也能作为支持定位的交互设计的指导标准。

考虑到用户已对Web和其他信息系统有一定的经验，定位重要性的另一个度量标准是为网页定位所分配的显示面积。在Nielsen和Tahir（2002）对50个网页的批评中，定位显示区域所占的范围在3%～48%，平均值为22%。定位重要性还体现在为“内容”分配的显示区域，在8个例子中从0～50%不等。大致分为两类：一类在30%～50%，另一类在0～14%。因此，和预期相反，为定位分配的显示区域通常和为内容分配的显示区域的大小成正比。

5.4 被动式交互

我们首先要认识到被动式交互的两个特点：首先，在可视化工具的典型使用过程中，用户的大多数时间用于大量的眼球活动和高阶认知处理；其次，被动式交互并不意味着静止的数据描述，很多因素决定了数据描述可能是快速可变的，用户可以通过观察这些描述而受益。这些

特点将在以下的实例中得到具体展现。

5.4.1 静态显示

针对特定的问题，我们可以设计出相应的静态描述如Minard地图，也可以根据用户的“授权”进行设计，如EZChooser。遗憾的是，人们常常将连续性交互以及渐进式交互视作“先进的”或“很酷的”设计，而将静态显示看做是“技术含量不高的”。其实这样的观点是不对的。从本质上讲，在用户做出选择前，渐进式交互过程中的每一帧都是静态的。因此，从减少认知成本和鼠标点击次数的角度来看，交互设计师应该考虑到引入静止数据描述可能会带来的好处。第2章中介绍的EZChooser是一个简单而具有说服力的例子。要回答“如果我们查看下一个价格或MPG区间会看到什么”这样的问题，用户可以简单地先点击一个价格区间，观察结果后取消这个选择，再选择一个MPG区间，然后对结果进行观察。不同于这样的常规做法，EZChooser的设计师在静态描述的基础上加入了“边界汽车”的概念，这样不需要交互和大量认知成本也可以回答上述问题。和常用的“先走后看”（动态查询）方法不同，静态显示使用的是“先看后走”的方法。正如Rao所提出的问题，

167

> 你去印度难道只是想看看你到底愿不愿意待在那儿吗？

5.4.2 浏览

视觉交互常常和一系列的眼球活动联系在一起。考虑到人类视觉系统在信息可视化中的基础性地位，我们应该对该系统，尤其是常用术语的定义做更深入的讨论。

人类的视线在有意识的前提下是不停变化的。当视线聚焦在某个特定事物时，Potter（1999）提出的概念型短期记忆（conceptual short-term memory）显示，对于视线捕捉到的图片，人们首先是感知并将其储存在感官存储区内，然后对其做解释和评估。整个过程最多可能持续大约500毫秒，可以叫做内容评价（assessment of content）或浏览（browsing）。

浏览一词在很多语境中都带有偶然的意味。虽然可以将视觉凝视看作是偶然的行为，我们还是认为应该将浏览分成以下三种类型：

- 探察式浏览（exploratory browsing）指为可见场景建立内部模型的视觉凝视活动。因此在一个书店内（图5-43），用户可以通过扫描发现第四个书柜放的是心理学类书籍。
- 随机式浏览（opportunistic browsing）指“看看有什么”而非建模的视觉凝视活动。例如，刚进入聚会场所，我可能很快速地扫视，看有没有熟悉的面孔。
- 无意式浏览（involuntary browsing）是非直接的，并且没有任何明确的意图。它描述了常见的人类视觉活动模式。如图5-4所示，用户可能在喝咖啡时无意间发现桌上的一张有趣的图片。

168

如图5-43所示，用户通过探索式浏览发现第四个书架放着心理学类书籍。我们可以对第四个书架做一次新的探索式浏览，为它的内容建立一个模型。此时，我们注意的区域焦点进入了（连续）信息空间，聚焦在这个特定的书架上并为其内容建模。在此区域内做探索式浏览可以发现和认知心理学、诊所心理学以及社会心理学有关的内容。在这一过程中，用户的注意力主要集中在连续信息空间内的用户自定义区域中，这和离散信息空间内的渐进式交互过程中可能产生一系列的用户选择的位置（如网页等）很类似。因此我们也可以使用定位一词。

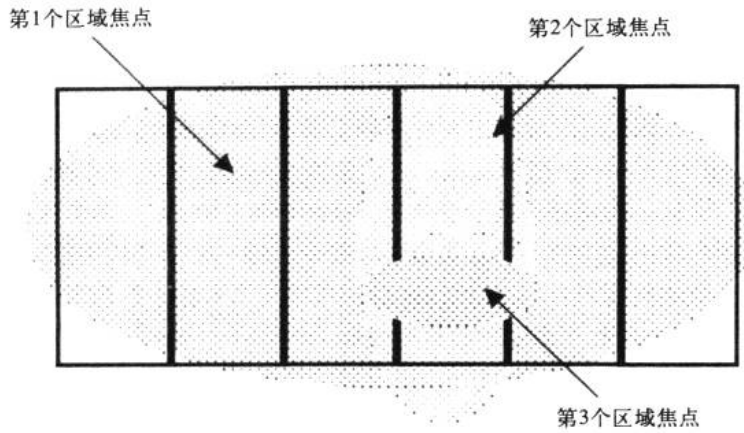


图5-43 对认知心理学感兴趣的用户对书架的视觉浏览示意图。第1个区域焦点集中在红色部分，通过对所有书籍的探察发现心理学的书籍大多集中在绿色区域（第2个区域焦点）。对该区域的研究发现认知心理学集中在蓝色区域（第3个区域焦点）（见彩图）

5.4.3 动态显示

“数据驱动”的动态数据描述可以带来很多的好处，但用户并不像在连续或渐进式交互中一样对活动做直接控制。在“动态流”显示模式中（图5-44），货币经纪人关注美元和欧元间的货币交易率。根据全球范围内的实时动态，图形每隔4秒刷新一次。这里的交互是被动的，经纪人只是对显示做监视并根据经验做决策。我们以往认为是最不重要的变化在这个例子中反而是最重要的信息！

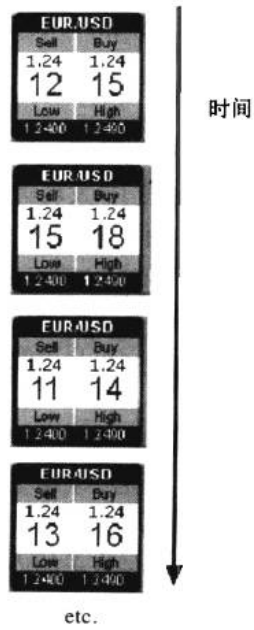


图5-44 美元对欧元汇率比的连续变化描述

动态显示的第二个例子是为了更好地理解算法而对算法改进过程进行观察（Pu and

Lalanne, 2000; Wright *et al.*, 2000)。图5-45所示的系统界面（Colgan *et al.*, 1995）通过结合两种方法来帮助用户进行电路设计。第一种方法是通过优化算法对原始电路设计的某些参数做自动调整来尽量缩小电路实际性能和设计目标之间的差距。优化算法的作用是毋庸置疑的，但是[⊖]，如果用户可以根据个人经验对算法的运行过程进行监控，将有效提高算法的效率，并帮助其达到自动运行所不能达到的高度。优化过程中的各种相对性和相关性的发现是监控过程中很有用的附加产物。

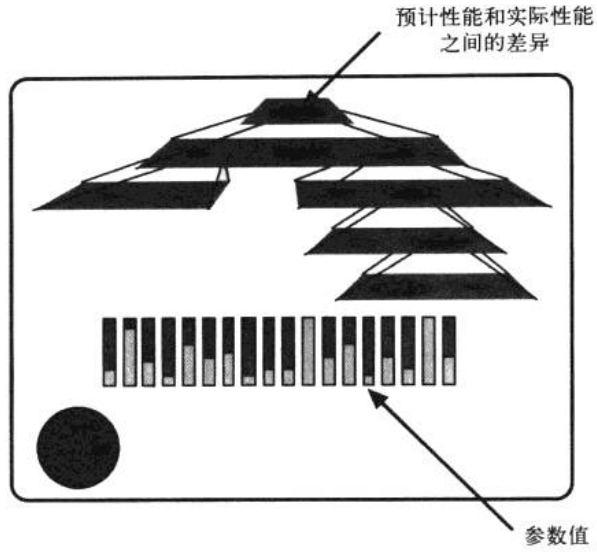


图5-45 允许用户指导的电路自动设计系统草图。时钟指针的移动代表优化算法的迭代行为。蓝色条状和红色圆圈的大小分别表示算法选择的参数值和电路的各种性能指标。设计师可以在任意时刻暂停算法的运行、改变算法细节或设置算法性能的某些限定条件（见彩图）

同飞行员指挥自动飞行模式下的飞行类似，图5-45描述了优化算法的运行过程。层次结构对应于算法性能。最高层的圆表示整体性能的函数相关性，第二层圆表示各种重要属性。红色圆的大小表示预计性能和实际性能之间的差异，因此圆越小说明性能越好[⊜]。算法的目的在于通过反复修改参数来取得更好的运行性能：设计师观察圆的大小变化以及算法自动选择的参数值（蓝色条状），根据自身经验来提高优化性能。在设计师做出任何干预之前，整个交互过程都是被动的。

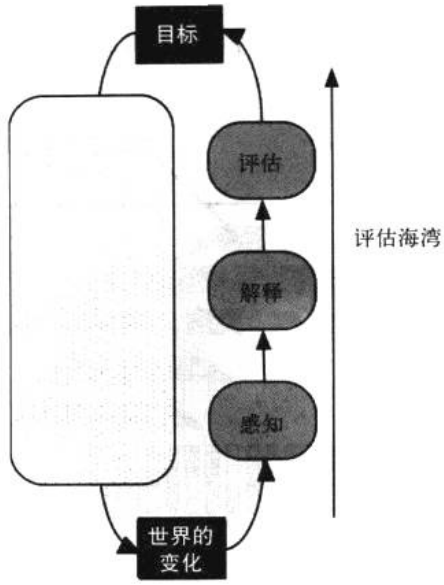
169
~
171

被动式交互的第三个例子是图5-4所示的咖啡桌隐喻。在用手指将图片推到桌面的中心位置而实现语义缩放前，用户没有进行其他的物理活动。根据Norman行动周期（图5-46）对所发生的事件进行分析是很有用的。首先，我们从意图入手。我们要认识到人的意图可能是多样的。这些意图存在于长期记忆中，通常情况下用户没有将它们清楚地表达出来。例如，当人很渴的时候会将注意力放在喝咖啡上，即使他是个象棋爱好者，在这种情况下通常不会表达这些个人爱好，从而避免形成行动计划的认知行为。当无意间看到一张棋盘图片后，用户会由于个

⊖ 如同Douglas Hitchhiker在《Guide to the Galaxy》一书中描述的，优化算法的结果有时和计算机返回值“42”相关，这意味着所得到的答案是不明确的。

⊜ 圆的大小代表电路实际性能和设计目标之间的差距，这可能导致一种奇特的结果：完美电路对应的圆大小为0!。

人爱好而对其做感知、解释和评估。在意识到相关性之前，用户并未投入任何的认知成本。如果看到的图片是和个人兴趣无关的，用户会轻易地就将其忘记（Potter, 1999）。广告人员应该对以上用户行为非常熟悉。



172

图5-46 偶然式浏览的Norman行动周期框架

5.5 混合型交互

在实际应用中，当任何单独的交互模式均不能够提供最有效的解决方法时，多种模式的组合（混合型交互）是更为合适的选择。由于涉及的数据可能很多，因此需要用到渐进式交互来为基于连续和被动式交互的进一步探索设定一个合适的数据子集。5.4节中讨论过的自动设计系统就是一个很好的例子（见图5-45）：在监控自动设计的过程中使用到的被动式交互常过渡到渐进式交互（检查红色圆圈所包含的细节信息）或连续性交互（探索红色圆圈所构成的树的层次关系）。

我们将从设计的角度来讨论混合型交互。现有很多经济的、电子的、水压的以及工程学等设计原则，但设计师始终关心两类中心问题。参数指用户可设定的变量。工程设计师可以设定轴承半径或钢板厚度；金融或投资设计师可以决定投资金额；电子电路设计师可以设定电阻器值以及芯片尺寸。参数值的选择影响着对象的性能：对于工程设计师可能是引擎的刹车马力；对于金融设计师可能是投资的风险与回报；对电路设计师可能是iPod放大器。

影响

现有很多软件包可以预测特定参数的选择所对应的性能，从而帮助设计师理解参数选择对性能的影响。虽然这类信息很有用，但它和设计师的任务并非直接相关的，性能的可接受范围是由用户决定的，然后设计师才能对参数值进行适当的选择。因此设计师需要了解性能限制条件对参数值的影响。设计师要考虑的另一类影响是性能之间的相互影响关系。因此，金融设计师需要权衡收益和风险，工程设计师需要明确气缸大小和刹车马力之间的平衡关系。我们将看到，信息可

视化可以帮助设计师对这三类影响进行探索（Tweedie *et al.*, 1995, 1996; Spence, 1999）。

为了简化讨论，我们假设需要设计的对象可描述为两个参数X1和X2，用户对两个性能S1和S2感兴趣。我们假设用户已经对S1和S2设定了限制范围。为了讨论以上提到的各类影响，必须首先生成一些数据。通常，设计师应该对可能的设计所对应的参数空间有所了解，为所有可能的设计生成一个如图5-47a所示的随机分布的集合（其中的每个点对应一种设计方案），然 173
后为每种设计对应的性能S1和S2生成一个模拟包（图5-47b）。在这个简单的示例中，我们看到，性能空间（图5-47b）中的可接受区域内的点都可以通过回溯找到适合的参数值X1和X2（图5-47a）。从图中还可以看出S1和S2之间存在着一定的相对性。

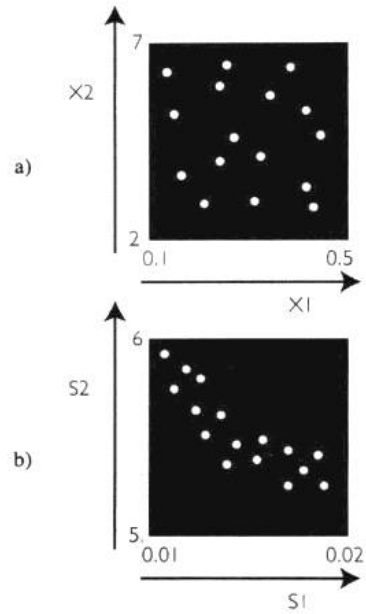


图5-47 对参数空间内随机生成的设计方案a）进行模拟，对应的属性显示在性能空间b）中。在性能空间b）中选择的合适性能可以回溯到参数空间a）中对应的设计方案

实际的设计常常涉及很多必须要遵守的参数和性能限定条件。但解决方法从本质上来讲和图5-47所示的例子是一样的，对参数空间的某个区域内的设计做模拟，找到对应的性能，结果如图5-48所示：某结构（例如灯泡内的灯丝）表示为X1~X4四个参数，用户对S1~S4四个性能（结构内的压力）感兴趣。如同属性浏览器中对应于每栋房屋的直方图，本例中的每个设计可以定义为8个直方图，图5-48显示了其中的4个。

图5-48所示的性能直方图的优点在于可以为任意参数或性能设置限定条件，*对其他所有直方图的扫光操作可以看做是连续交互*。因此我们在图5-49中看到，可以通过用户对S1~S4所设置的限定条件来对参数直方图做扫光操作，红色表示能产生适当性能的参数组合。可以通过放 174
宽参数限制条件来取得新的设计方案。如同属性浏览器中对参数限制条件的调整，连续交互可以帮助设计师在和用户协商的基础上探索调整性能限制条件。5.2节展示了如何在S4和S3之间取得平衡。以上讨论到的探索机制可以参见影响浏览器（Influence Explorer, Tweedie *et al.*, 1995, 1996）。

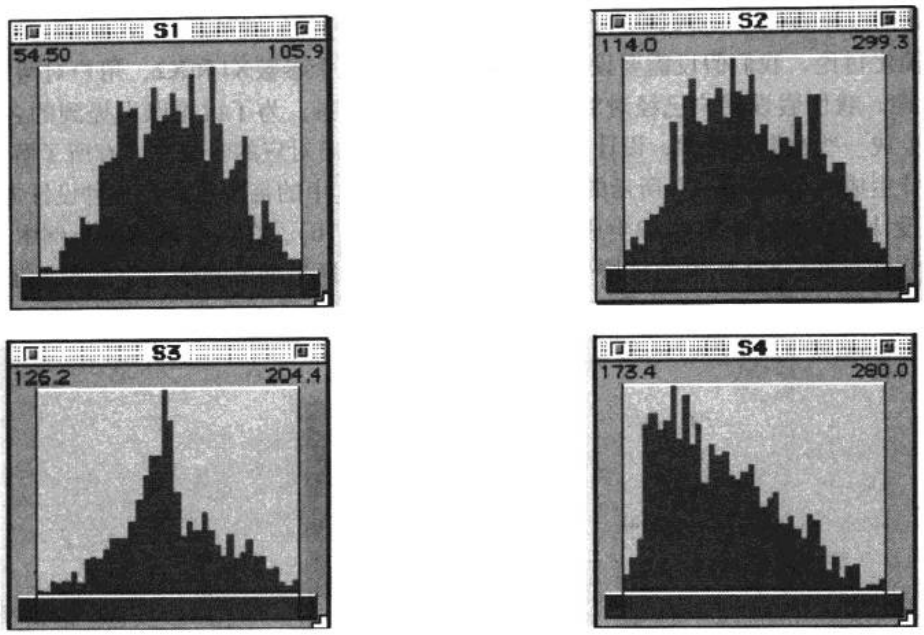


图5-48 将某结构的随机生成的设计方案中的四种压力显示在直方图中（见彩图）

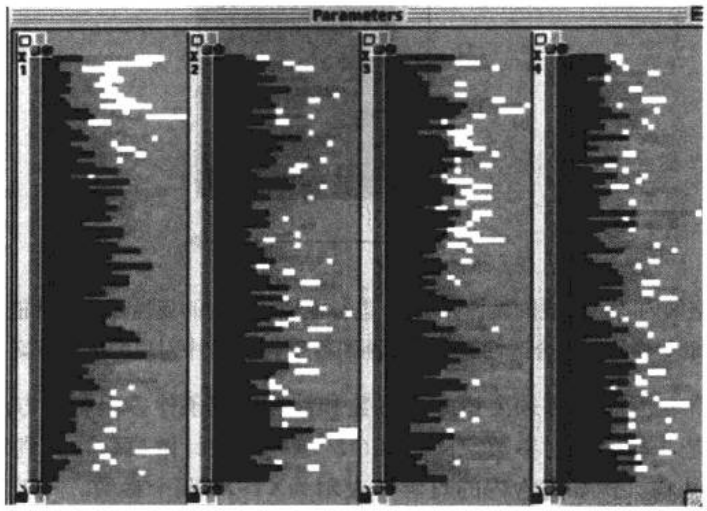


图5-49 根据对参数S1~S4所做的条件限制对参数直方图做扫光操作，红色表示满足S1~S4限定条件的参数组合（见彩图）

剖析

以上实例中的数据可以显示在一个剖析矩阵（prosection matrix, Furnas and Buja, 1994; Tweedie and Spence, 1998）中（见图5-50）。一个剖析和一组参数有关，并在二维参数空间中显示所有选定参数范围内（如某个部分）的设计的投影。同属性浏览器的颜色编码一样，满足所有性能限定条件并落在可接受区域内的设计显示为红色，唯一不满足一个性能限定条件的显示为黑色。

175
~
176

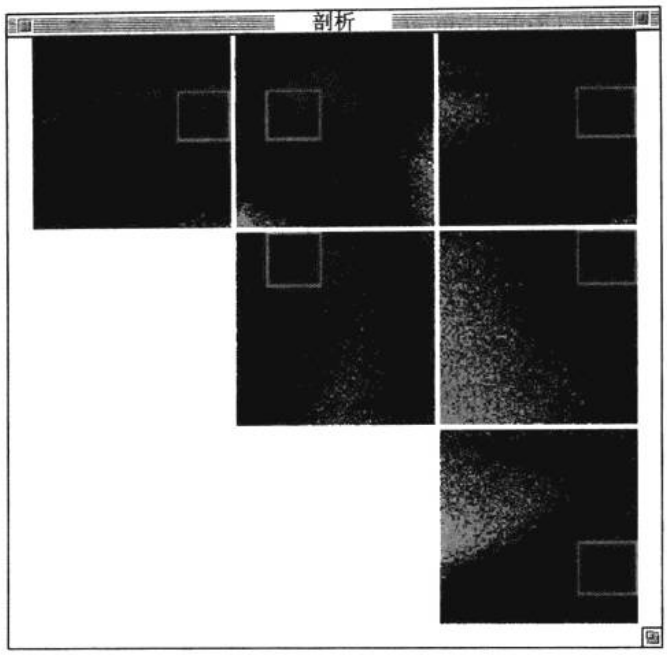


图5-50 有四个参数的设计剖析矩阵。红色表示满足所有性能限制条件的设计，黄色表示放宽参数限制条件后大规模生产所对应的设计（见彩图）

在传统设计中，设计师对合适的属性或性能的初始范围缺少想法。剖析矩阵的主要优点在于帮助设计师为所有参数选择一组特定值从而使设计落在红色区域内。认识到参数应落在允许范围内后，针对大规模制造的设计任务，设计师可以在规定范围内设置一个高维的容忍度盒子(Spence and Soin, 1988)：该盒子的范围就是图5-50中显示为黄色的区域。设计师可以连续移动这个盒子，系统应为对应设计所能带来的收益提供相应的线索信息。

5.6 交互动态性

5.6.1 心理模型

在Norman动作周期模型中，执行的结果是“改变世界”或“改变数据视图”，并且显示为一个单独的盒子。考虑到变化可能是即时的（我们下面会谈到，非即时也许更有用），我们需要对这个盒子做进一步的讨论，特别是对数据的新旧视图间的转换问题（图5-51）。

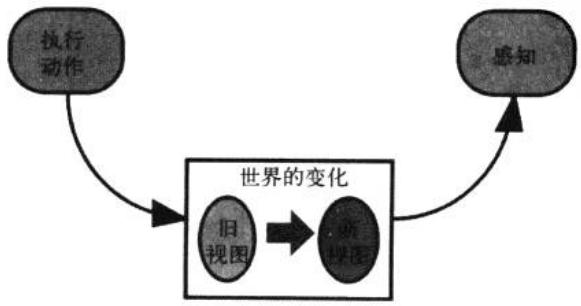


图5-51 基于信息可视化，Norman的“改变世界”一说对应于数据新旧视图的交替

第3章中介绍的锥形树（Robertson *et al.*, 1991）反映了渐进式交互中产生的视觉变化的动态性本质（见图5-52）。用户可以通过命令找到一个特定的结点，该结点以及其子树中的所有结点会自动旋转到视图的正面，这样就可以方便对锥形树的使用和理解。如果用户想要查看另一个结点，则类似的旋转会再次发生，此时出现一个交互设计问题。如果和第二个焦点顶点相关的旋转立即发生的话，用户在上一旋转过程中对该锥形树建立的心理模型可能会遭到丢失或
177 破坏。如果引入持续一秒左右的动画来保证两个状态（即两个旋转）间的平滑过渡，就可以保证对象的稳定性（换句话说，在物理世界里，锥形始终是锥形），用户从第一个描述中取得的内部模型受到的破坏就会较少，而用户对该树的心理模型可以得到增强。在一个描述锥形树的视频里，Card评论到："如果没有动画，用户将花上数秒时间来重塑树的各部分之间的关系"，即重建心理模型。连续交互和渐进式交互存在着较大区别：连续性交互需要即时反馈，而即时反馈不一定是渐进式交互的最佳选择。

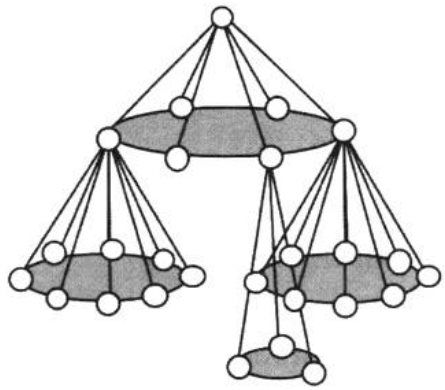


图5-52 锥形树

即使没有对应的物理隐喻，通过渐进式交互取得的两个离散视图间的人工动画还是很有用的。图5-53a中的圆圈表示多个国家的国民生产总值（GNP），圆圈大小对应于GNP值。在渐进式交互中，年份的更改会导致视图立即变成图5-53b。用户可能会花费一定的时间才能理解视图发生的变化。然而，如果引入持续时长在一秒以内的动画来描绘两个视图间的变化（如图5-53c所示），即使这些变化完全是人工生成的，图5-53a和图5-53b之间的变化也将比较容易理解。

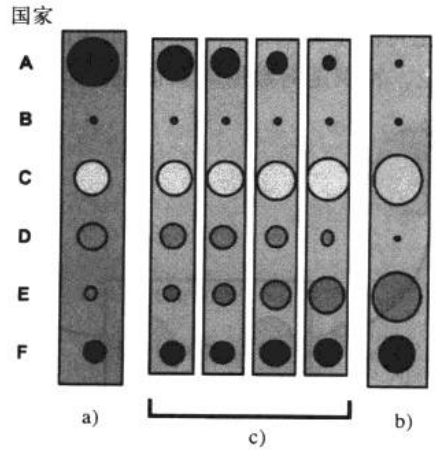


图5-53 可以通过动画表示的图c）来描绘视图a）和b）之间的转化（见彩图）

5.6.2 盲视

视图变化的首要前提条件是保证视觉变化应是可察觉的，否则会带来负面效应。我们主要讨论违反直觉的并且大家可能觉得难以置信的两种现象。交互设计师，特别是安全性要求很高的应用的设计师，必须要对这两种现象有所了解（DiVita *et al.*, 2004）。

1. 变化盲视

在第3章中我们已经讨论过变化盲视（Change Blindness, CB, Rensink *et al.*, 2000; Rensink, 2002; Rensink URL）：驾驶员没有注意到飞行高度计的变化。通过对CB现象的分析，我们可以看到，人类视觉系统不能自动存储已观察过的物体的细节记忆。换句话说，人们记住的不是组成一幅画面的所有像素，而是一个站在人行道上的穿蓝色西服的人钻进了一辆黄色的出租车。如果在短暂间隔（通常不超过40毫秒）后将这个画面替换为另一个非常相似、只有部分细节不同的画面（例如，画面里有个路人经过），则人们对新画面的心理模型很有可能和原来的画面是一样的，也就是说，人们很有可能没有注意到画面的变化（Rensink的URL）。

当人们的目光在扫视时也有可能注意不到变化。Grimes（1996）的研究发现即使是针对真实的场景，当变化产生在眼球活动期间时，人们也很有可能察觉不到这些变化。在某个实验中，当变化产生在扫视期间时，50%的参与者没能发现两个人交换了头部。

2. 非注意盲视

研究信息可视化的交互设计师需要注意的另一个“盲视”现象叫非注意盲视（Inattentional Blindness, IB）。我们在第1章中讨论过这个现象（Simons and Chabris, 1999）：当参与者被要求观察一段视频时，有些人没有注意到画面后方有个人装扮成大猩猩的模样走过。其他关于非注意盲视的、令人惊讶的违反直觉的例子可参见参考文献（Varakin *et al.*, 2004）。

178
~
179

3. 消除盲视的设计

Durlach（2004）的研究部分回答了如下问题：“作为交互设计师，我应该如何通过可用性测试来减少变化盲视和非注意盲视所带来的问题？”。每种解决办法都有其各自的优缺点。例如，提供“变化警报”确实可以提醒用户变化的产生，但是要对这些变化做出反应也需要用户精力的投入。类似的，对信息崭新度的编码可以告诉用户哪些信息是最新的，但可能会增加视觉复杂度，并且要求交互设计师找到一个未经使用的突出的编码通道。以上提到的只是Durlach（2004）列举的增强变化感知方法中的两种。虽然在音频输入领域已经有关于CB和IB的大量研究工作（例如Cherry, 1953），但还是有很多亟待解决的问题。

5.6.3 视觉要素

视觉要素（visual momentum, Woods, 1984）这个和视觉变化相关的概念最早来源于电影中的场景变换。例如，在两个相连的场景里，演员要保持相同的发型。这正是众所周知的“连续性女孩”在电影制片过程中的重要性的体现。我们将这个原则应用到信息可视化领域，例如保持网站的不同网页间风格的一致性。如果菜单在新网页中改变了位置，或者页眉颜色由于不知名的原因而改变了，这些都会造成用户的困惑。从更普遍的角度来看，高视觉要素意味着用户花最少的认知成本就能将新的场景融入到已看过的场景中去。从本质上来讲，要素对应着心理模型。当进入新的相关页面时，用户不应该抛弃初始模型而重建新模型，而应该只是丢弃原模型的一部分，将认知成本用在新的具有丰富信息的部分。网页设计师和电影导演都需要众所周知的“连续性女孩”！

5.7 交互设计

本章主要讨论的交互技术为交互设计师提供了信息可视化设计指导原则中的最后一个和交互有关的调色板。和前面提到的关于数据描述和数据表示的调色板一样，交互调色板提供了丰富的概念和技术，图5-54显示了其中一部分。

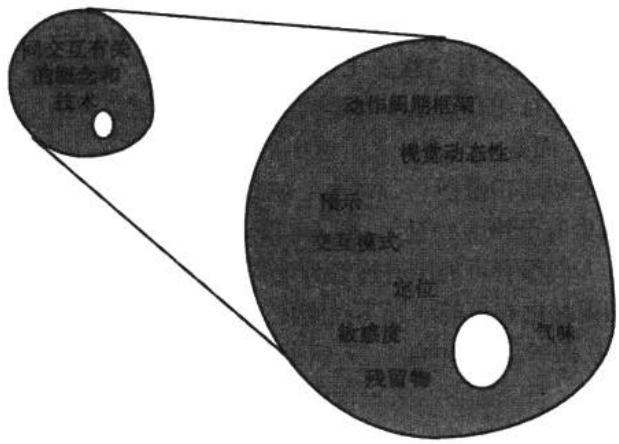


图5-54 同交互有关的概念和技术的调色盘

当要设计一个可以为信息可视化带来很多益处的交互应用，如投资计划、汽车或新型洗衣机等，需要有效地用到所有调色板。目前不存在可以保证成功的甚至只是合适设计的分步指导原则⊖。原因很简单：新的界面都是不同的，而且通常是复杂的；它们需要满足很多不同的（例如社会的、技术的、经济的）需求；可使用的技术随着时间的推移而不断变化，与之有关的理论知识如认知心理学和视觉设计等也在不断地变化。设计是高度创造性的活动，而“致命性武器”是不存在的。踏入一间工作室（图5-55），你就会立即发现设计是协作性的、涉及交叉学科的、反复的、严格的工作。同设计师的交谈可以帮助我们发现很多不同的设计原则。



180
~
181

图5-55 交互设计过程。可见的特征提醒我们设计的协作性的、涉及交叉学科的、反复的、严格的本质（图片来源：感谢UCD network及 Alison Black惠允）

⊖ 持怀疑态度的读者可以尝试为从拿破仑东征记录到著名的Minard地图设计出一个一般性过程。

第6章中讨论的各种例子将为我们展示为利用信息可视化的优势而对交互设计的复杂度进行的研究。设计的复杂度来源于很多方面。首先，要充分理解目标设计所要支持的任务；对已有技术进行综述和评估；分析用户的本质（新手？训练过的用户？偶然用户？）；辨明目标的形成过程以及相应的任务；掌握现有技术。交互设计师必须做的是（通常是协作性的），认识到所涉及的各种事物，然后实施他认为正确的界面设计步骤。协作通常发生在初始草图的形成和多轮实验性设计中。当然，用户可能全盘否定或只部分接受提交的设计方案，因此会有多轮修改。随之进行的可用性测试将会导致更多的修改。通向成功的最终设计的路途并非一帆风顺的。

在第3～5章的讨论中我们看到信息可视化交互设计的复杂度很大程度上通过前面章节中介绍的数据描述、表示及交互技术得以降低。如同一个称职的上司或熟练的画家，交互设计师必须从可用的技术中选择出适合的，并使用某些概念对它们进行有机组合，从而形成有效产品。如同烹调和画画一样，只有通过实践体会到好的和不好的设计的区别，才能设计出优秀的产品。我们希望第6章中将要讨论的各种案例能帮助读者加强对前面讨论过的概念和技术的理解，并且为交互设计提供灵感和指导。 182

习题

建议通过课堂讨论的形式来加深对以下习题的理解。

5.1 （复习题）用一句话解释以下概念：（1）被动式交互；（2）渐进式交互；（3）动态交互。

5.2 （复习题）用一句话解释以下概念：（1）敏感度；（2）残留物；（3）气味；（4）历史信息。每个概念各自的主要功能是什么？

5.3 列举一个交互设计的例子，也许你的衣服口袋或手袋内就有，如iPod、手机或相机等。要求选择的产品不是类似于售票机、咖啡机或电梯等完全电子化的设备。

针对选定的产品，分析它是如何支持或不支持Norman行动周期模型中的6个步骤的。如果可能，提出相应的改进方案。在班级报告中，建议将该产品支持的模型细节画在一张大纸上，并加上自己或他人的意见。

5.4 根据敏感度、残留物、气味以及其他相关概念，分析选定的某个网页（不是一个网站）的不足，并提供相应的修改方案。

5.5 在习题3.3中，你为5位学生的8科成绩设计了一种数据表述方法。为该描述加上合适的交互。你提出的方案能解决习题3.2中提到的哪些问题？讨论你提出的动画怎样增强对象/属性可见性以及相关性。 183

5.6 现在普遍认为属性浏览器不适用于针对普通大众的网页设计。当然，敏感度信息（如同黑色房屋里包含的一样）还是非常重要的。找到一个网页实例（如住房、汽车或航线等），要求其提供属性限制，并且为新用户提供易于理解的敏感度信息。描述这个设计的主要改进之处。

5.7 为教师提供的网页提出支持社会化定位的改进方案。要求说明每个方案的优缺点。

5.8 习题3.10要求为人际关系（包括婚姻状况、出生日期、死亡信息等）设计可能的静态（非交互）描述，并讨论各种方案的优缺点。现要求将其中一种方案变为交互式的。 184

第6章
Information Visualization: Design for Interaction, 2E

案例分析

设计

设计是时间中的某一时刻。它利用过去，也影响着未来。

无论设计的是界面、飞机还是金融投资，设计活动都不可避免地利用了过去的设计和经验（无论是成功的还是不成功的）；它尝试着发挥所有可用部件的优势；它利用现有的技术和用户需求；它是对市场需求的认知。随着设计的进行，测试评估和对所设计的产品的使用会告诉设计者可能的有益改进。

因此，设计是个动态的过程。不同产品的设计过程所耗费的时间各不相同：飞机研发需要数十年，产品生产需要数月，新颖的界面设计可能只需要几天。所有这些例子的共同点均在于人类行为。

无论是作为一个独立的工具还是一个更复杂系统的一部分，信息可视化工具的设计都是个工艺流程。设计师（很多时候是多名合作设计师）在已知概念和技术的基础上发掘新颖的想法，设计出创造性的产品。从这个角度来看，信息可视化设计师是在重复工程设计师已经进行了上百年的工作。这个活动中最重要的一个部分就是设计师的想象力。设计同时也是可能涉及众多
185 用户的协作性活动[⊖]。

本章将重点讨论5个体现了设计本质的优秀的信息可视化工具。从广义上来看，这些设计所用到的原则和技术都来自人机交互（human-computer interaction）领域。我对每个设计都做了详细的说明。我没有选择将原文打印出来的简单做法，而是标注出重要的设计特色和设计师的成功之处，简要介绍背景知识，从而保持整本书的风格一致。我经常从原文中节选段落，这些文字已经写得非常清楚了，因此我认为没有必要重述。所有我介绍过的例子都得到了原作者的许可。我非常感谢他们同意我使用原图，但读者应该了解，在我认为能帮助理解的地方，我使用的是自己创建的图片。我特意在每个案例分析的最后一个部分附上相关的参考文献。

熟悉Spotfire和ADVIZOR的读者可能会感到惊讶，本章中并没有介绍这些著名的信息可视化工具。原因很简单，从前面章节到本章的过渡存在一个很大的跳跃：从概念和技术到为有限制条件的特定任务所做的设计。因此，对于涉及大量语境因素和需求的主流商业可视化工具而言，在本章有限的篇幅内对这些设计所做的肤浅的评论可能对设计师不敬。

案例分析

本章在挑选案例时尽量做到覆盖较为广泛的应用环境。例如，前三个例子分别针对不同的显示区域：PDA（6.1节）、传统显示器（6.2节）以及手机（6.3节）。产品所要支持的任务也是各不相同的，如在线购物（6.2节）、日历（6.1节）以及新频道选择（6.3节）。使用到的数据集也是不同的：从军方演习产生的通信数据（6.4节）到新闻文档集合（6.5节）。对每一个案例

⊖ 一个优秀的交互设计师需要随时记住两点：第一，“你不是用户”；第二，“不要尝试变成用户”。

都隐式地强调了可用性问题（关于这个话题可以单独用一本书的篇幅来介绍）。本章的各节依次讨论以下问题：

- PDA日历（6.1节）利用变形和抑制技术在显示区域严重受限的PDA上显示日历。
- 在线购物（6.2节）显示了超变量数据的编码方案，并且利用交互式条形图来实现对可选对象的自由查看，敏感度信息的使用可以帮助实现“先看后走”而非“先走后看”的策略。
- 手机屏幕的大小有限，这为搜索新闻频道所需的图片幻灯片显示模式（6.3节）提供了一个很好的实用环境。
- 对军方演习产生的大量通信数据的探索式分析（6.4节）显示了属性浏览器作为其他工具插件所体现出的支持信息获取的潜力。
- 在最后一个案例分析（6.5节）中，InfoSky系统采用了银河系的隐喻来实现在大量新闻文档中的搜索和浏览功能。该系统还体现了语义缩放和算法的价值。

186

6.1 小型交互式日历

6.1.1 时间规划

无论是私人时间还是工作时间，人们常常需要对自己的时间做很好的规划。而日历是帮助人们做时间规划的好帮手。我应该在什么时间预约牙医？今年春天的什么时候应该去露营？CHI会议何时举行？日历可以帮助我们回答这些问题。

大量存储空间和交互式计算能力的组合使得日历的功能日益强大，而PDA一类的手持设备使得日历的使用变得可移动和直接。怎样实现的呢？通常情况下日历所占空间都不小，特别当人们想要查看一年内的所有记录时，PDA的显示区域就显得不够用了。基于已有概念和技术，Bederson、Clamage、Czerwinski和Robertson于2002年巧妙地、创造性地将日历融入到了PDA中。他们的系统最初叫FishCal，这个名字反映了其中最重要的鱼眼显示模式，现在改名叫DateLens。

设计师所做出的最重大的决定是通过鱼眼透镜概念将大量的日历数据显示在一个较小的显示区域内，这正是该工具最初叫FishCal的原因。图6-1显示了系统的主要界面。左边显示的是作为“总图”的12周数据（例如，有预约的日子）。右边显示了单击4月2日的效果：除了该日期外的其他日期变形（而非移除），从而（同样是自动地）得到足够的空间来显示所选日期内的所有预约信息。

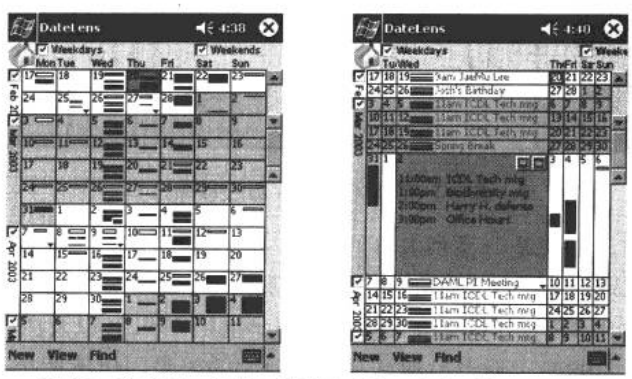


图6-1 FishCal日历的两个视图显示了变形技术的使用

6.1.2 设计哲学

该工具的设计者表示已有知识对他们的设计决定起到了巨大的影响：

……这个设计主要是基于很多已有工作。

这在复杂系统的设计过程中是很常见的。但是他们也强调了自身的贡献：

……虽然FishCal的各个特点都是已有方法的变形，但是我们的主要贡献在于结合已有技术为重要的应用领域创建一个实用且新颖的应用。

6.1.3 背景

我们需要首先回顾一下支持交互式PDA日历的前期工作。

正如设计师们指出的，FishCal中使用的鱼眼变形技术属于第4章中介绍过的双焦显示（Spence and Apperley, 1982）。后来，Furnas于1986年提出了“感兴趣区域”的概念，它利用抑制技术使得重要数据可见（同样参见第4章）。FishCal的灵魂在于变形和抑制的结合。

图6-2显示了Spence和Apperley在1982年首先提出的鱼眼日历。他们于1980年（在伦敦帝国理工学院）提出的概念处于初级阶段，虽然对X和Y方向的变形做了探索，但由于当时的技术所限，并未实现成熟的应用。后来Furnas于1986年描述了这样一个想法：点击某一天可以扩大该日期的显示区域（图6-3）。受当时技术的限制，它不支持图形编码和搜索，也没有控制显示周数的选项。更重要的是，该设计并不针对大小受限的显示区域。Sutton和Spence于1988年提出了以下的抑制技术：通过构造性盘子的隐喻实现空间的压缩。每个盘子包含某一天的所有信息，可以通过移动盘子来为某一天或数天（例如一个星期）提供足够的空间（见图6-4）。

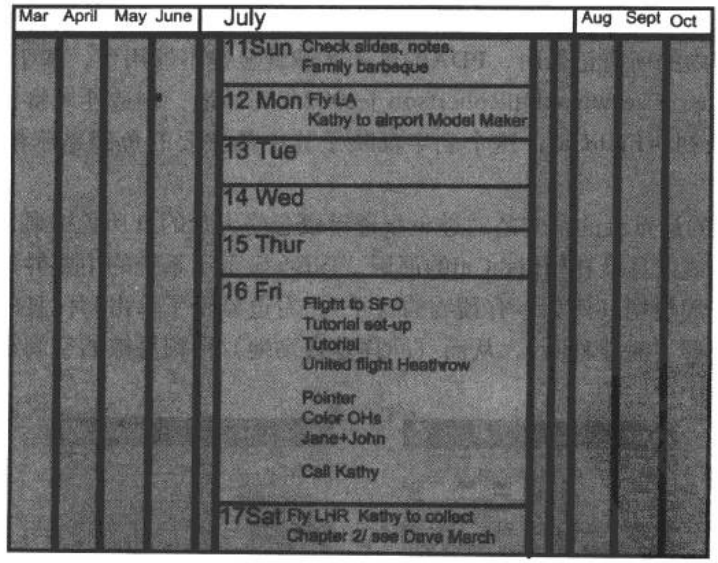


图6-2　最早的双焦日历（1980）

考虑到日历从本质上来说是一系列表格的集合，因此应考虑使用表格透镜（Rao and Card, 1994）。然而，该技术只是为单个对象而非日历所需的多个对象而设计的。其他的早期工作有小显示区域内的日历图形编码（Plaisant and Shneiderman, 1992）以及图6-5所示的层叠式日历部件（Mackinlay *et al.*, 1994）。后者虽然具有类似鱼眼的效果，但不适用于小屏显示设备。

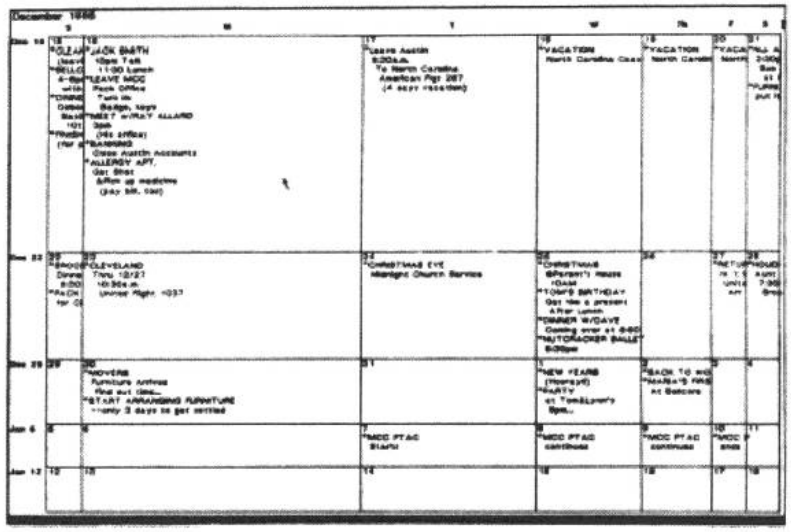
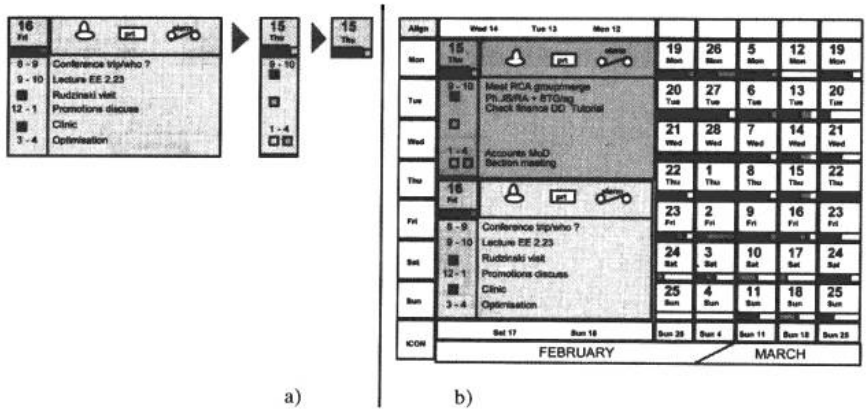


图6-3 Furnas的日历（1986）



a) b)

图6-4 构造性日历（1988）。a）通过掩码实现连续抑制；b）构造性日历

187
~
189

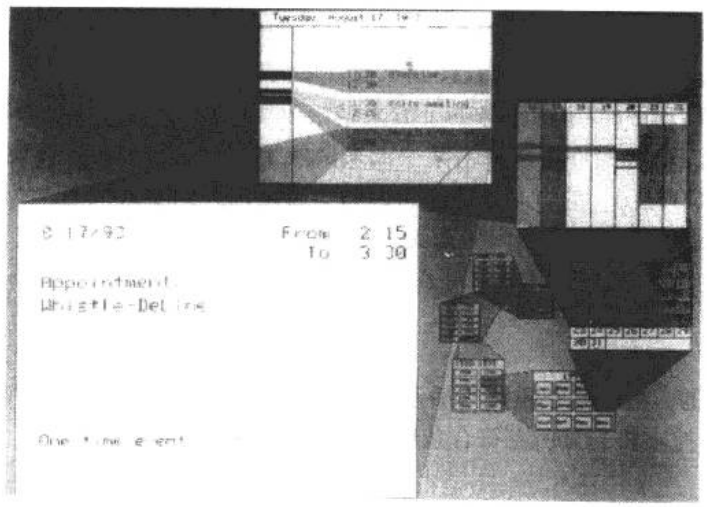


图6-5 螺旋形日历（1994）

6.1.4 日历视图

FishCal的设计师提供了四种日历视图："微型"、"议程"、"全天"以及"约会细节"（见图6-6）。这些名字反映了各视图的主要特点。例如，约会细节提供了一天内某个约会的详情；全天是个传统的显示一天内所有约会的视图；会议视图显示了排好序的所有约会的文字列表，在空间足够的情况下还会用较大的字体来显示时间。微型视图显示了一天内所有约会的图形视图，用颜色区分不同类型的约会。

190

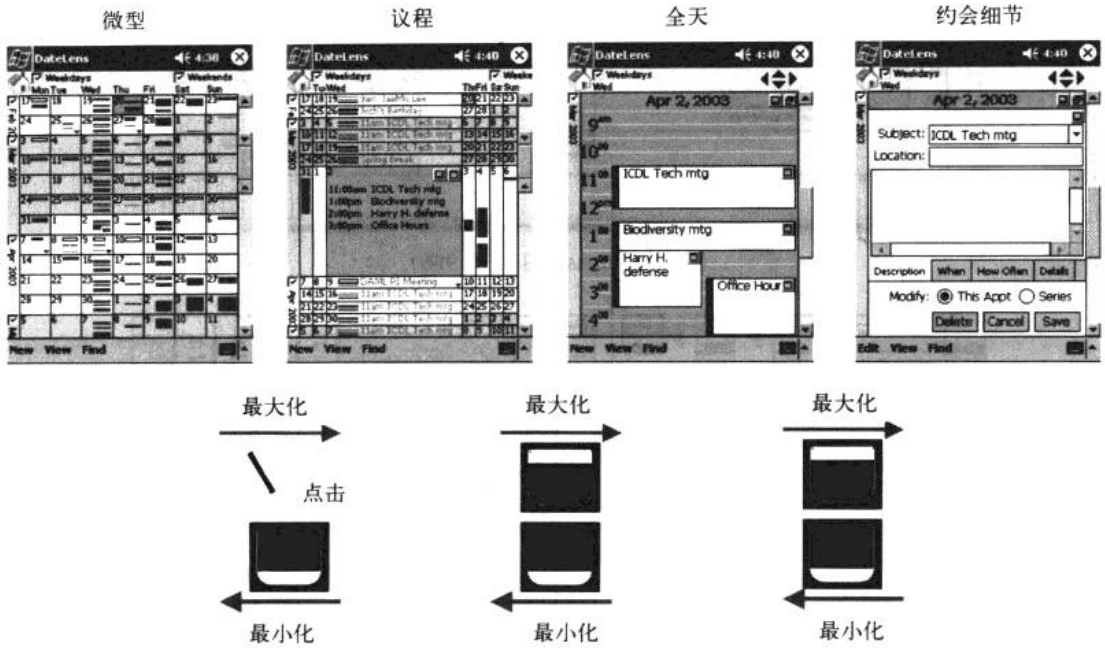


图6-6 FishCal日历提供的四种视图以及视图间切换所用到的交互

6.1.5 交互控制

视图间的切换通过统一的交互实现（部分交互见图6-6）。通过两个按钮和语义缩放实现最大化和最小化。受空间所限，从微型视图到议程视图的转换通过点击实现。

190
~
191

用户可以通过移动图6-7中滚动条的下方来轻松改变日历所显示的时间跨度。FishCal也允许直接的用户操作，例如允许用户单击某一天来聚焦于该天，同时减少其他日期的显示区域。在焦点日期（如图6-1左图）的背景上单击可以将该日期放大到全天视图。

该设计充分考虑到了视图切换间的动画。正如他们指出的，

[这些动画切换]可以提醒用户当前所在的位置。

6.1.6 搜索

如设计者评论的，搜索是很重要的活动，它可以帮助用户找到大时间跨度内的模式和边界对象。FishCal中的搜索将高显所有符合条件的约会（见图6-8）。

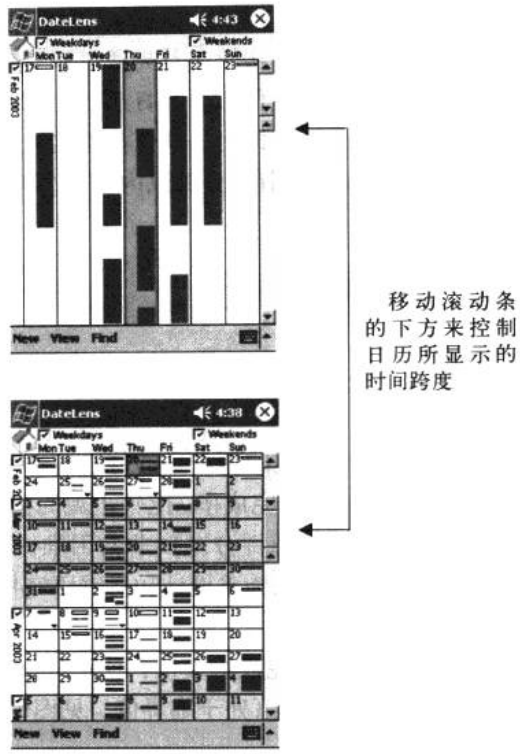


图6-7 移动拖动栏下方来改变日历所显示的时间跨度

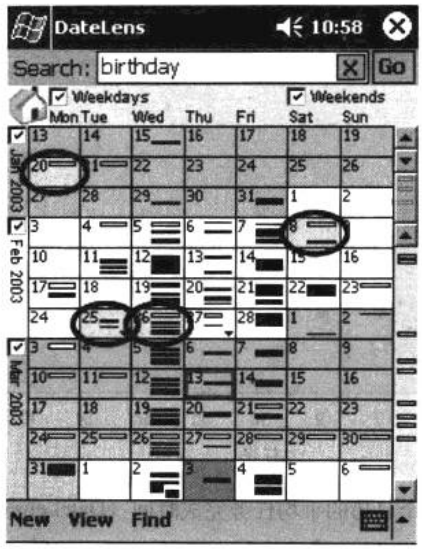


图6-8 FishCal的搜索结果

6.1.7 可用性研究

FishCal的设计师通过一个实验来比较FishCal和微软的Pocket PC 2002™日历。由于缺少在Pocket PC上运行FishCal所必需的软件环境，因此两个日历都运行于配置了鼠标和键盘的PC上。显示器的分辨率为1024 × 768，每个日历均占据显示器中央的240 × 320大小的区域（相当于

Pocket PC的显示屏的尺寸）。

经过精心挑选的6名男性和5名女性参与了实验。首先通过辅导使参与者熟悉两个日历，在辅导过程中参与者分别利用两个日历完成11项任务。对日历的使用顺序以及任务的执行顺序都做了平衡，以减少训练效应以及出现某些任务比另一些任务难的概率。考虑到用户从日历中发现信息的期待时长，每项任务的完成时间控制在2分钟以内，典型的任务有：

- 找到某个特定时间的事件。
- 查看某个月内有几个星期一。
- 找出未来三个月内的所有生日日期。
- 为一个活动找到合适的空当。

6.1.8 观察

192 ~ 193

用户感兴趣同时又能引起日历设计师重视的新日历的特点有哪些？一个明显的性能衡量指标是任务完成时间，另一个指标是任务的成功完成率。比较主观的指标有用户的满意度和偏好。为了方便统计，一般情况下会让用户给出数值评分（1=非常困难，5=非常简单）。最后，在实验的进行过程中总会出现可用性问题，这可以为重设计和后继研究指明方向。

1. 任务完成时间

统计分析表明使用FishCal的参与者任务完成得较快：使用FishCal和使用Pocket PC的平均耗时分别为49秒和55.8秒，但是差别并不显著（处于临界值，见图6-9）。随着任务难度的增加，FishCal在任务完成时间上的优势变得明显。

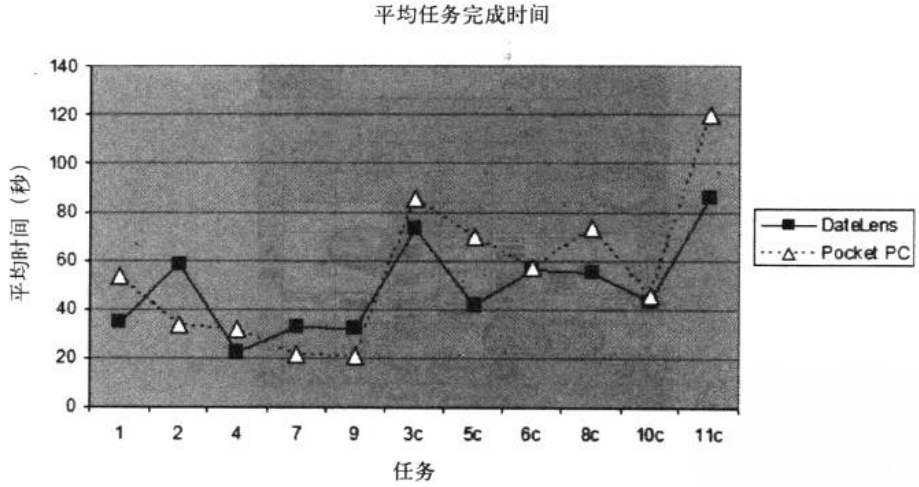


图6-9 两个日历的平均任务完成时间（DateLens=FishCal）

2. 任务成功完成率

如图6-10所示，使用FishCal的任务完成率明显高于Pocket PC（FishCal的平均任务完成率为88.2%，而Pocket PC的为76.3%）。由于FishCal允许用户将某个时间跨度内的所有信息集中在一个视图中，而Pocket PC只提供预先设定的视图（天、周、月以及年），因此使用FishCal能完成较多的难度大且不明确的任务。

6.1.9 满意度和偏好

就整体而言，特别是最困难的任务（任务11——未来3个月内有多少时间冲突？），FishCal得到的评分较高。FishCal取得的单任务满意度比Pocket PC高，但差别并不显著（处于临界值）。

194

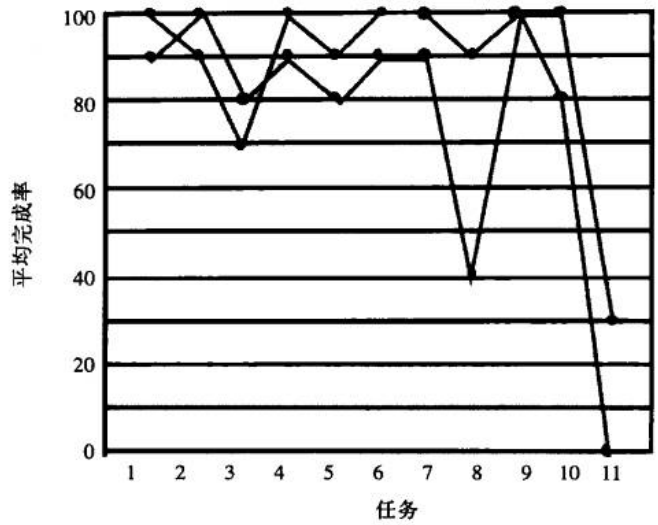


图6-10 每个任务的完成率（蓝色=FishCal，红色=Pocket PC）（见彩图）

6.1.10 可用性

设计师得到了参与者的良好反馈，这些意见为重设计指明了方向。例如，许多用户不喜欢视图中同时显示多于6个月以上的月份；整体视图中只显示了早上9点到下午5点的信息，而用户希望看到全天24小时内的所有信息；用户对文字的可读性表示担心，并且希望可以设置个人的默认视图；用户还希望可以设置每周的开始日期（周日或周一）。

实验中很少可以直接得出清晰的用户偏好，但对于一个新颖的界面，可以通过整体满意度的调查表和用户填写简报来获取用户的偏好信息。调查结果显示，用户略微偏好Pocket PC一些，但不明显。11名参与者中的6名选择了Pocket PC日历，1名弃权的用户表示理想的日历应结合这两个日历的优点，另外4名参与者选择了FishCal。偏好Pocket PC的参与者最常提到的原因是他们对Outlook XP日历很熟悉。

针对创新性界面的研发，实验结果揭示了未来工作的几个方向。虽然用户提出了很多需求，但设计师需要对这些需求逐一检验，判断在不妨碍新手用户使用的前提下这些需求对用户行为的影响。虽然实验使用的是鼠标和键盘，但在实际应用中应考虑用户使用的是配备了笔和触摸屏的手持设备。

195

对于FishCal这样一个新颖的界面，设计师的结论具有一定的普遍性。虽然他们使用鱼眼技术创造出了FishCal这样一个相对于传统日历界面而言很具有竞争力的系统，但是他们特别提到，由于日历管理是非常重要的活动，许多用户对非传统界面持谨慎的态度，因此FishCal面临的一大挑战是如何进行重设计以满足更广泛用户群的需求。

整体来看，FishCal（现更名为DateLens）是一个成功的设计，我们相信Kent Wittenburg的

评论会引起很多设计师的共鸣：

新颖的可视化系统很少能获得首次使用用户的积极反馈。

6.1.11 主要参考文献

URL: www.cs.umd.edu/hcil/datelens

Bederson, B.B., Clamage, A., Czerwinski, M.P. and Robertson, G.G. (2003) 'A fisheye calendar interface for PDAs: providing overviews in small displays', Proceedings of Extended Abstracts of Human Factors in Computing Systems (CHI 2003), ACM Press, Demonstration, pp. 618–619.

Bederson, B.B., Clamage, A., Czerwinski, M.P. and Robertson, G.G. (2004) 'DateLens: a fisheye calendar interface for PDAs', ACM Transactions on Computer–Human Interaction, 11, 1, pp. 90–119.

6.1.12 其他参考文献

Furnas, G.W. (1986) 'Generalized fisheye views: visualizing complex information spaces', ACM, Proceedings CHI '86, pp. 16–23.

Mackinlay, J.D., Robertson, G.G. and DeLine, R. (1994) 'Developing calendar visualizers for the information visualizer', ACM, Proceedings UIST '94, pp. 109–118.

Plaisant, C. and Shneiderman, B. (1992) 'Scheduling home control devices: design issues and usability evaluation of four touchscreen interfaces', *International Journal of Man–Machine Studies*, 36, 3, pp. 375–393.

Rao, R. and Card, S.K. (1994) 'The table lens: merging graphical and symbolic representations in an interactive focus+context visualisation for tabular information', ACM, Proceedings CHI '94, pp. 318–322.

Spence, R. and Apperley, M.D. (1982) 'Data base navigation: an office environment for the professional', *Behaviour and Information Technology*, 1, 1, pp. 43–54.

Sutton, J. and Spence, R. (1988) 'The bifocal display', Report to the UK Science and Engineering Research Council on the outcome of Grant GR/D/16499, 28 March.

196

6.2 从多个对象中选取一个对象

6.2.1 问题定义

从多个待选项中选取出一个物体是常见的活动：我们去超市选购奶酪、去商场买领带、去汽车展厅选购汽车，或者由于要搬家而去拜访房屋经纪人。很长一段时间以来，我们进行这些活动的时候并没有电脑的帮助。现在挑战在于如何通过电子技术来为用户提供备选方案，从而帮助用户进行选择。在本案例分析中，我们将介绍Wittenburg及其同事研发EZChooser的整个历程。这是一个根据属性从多个对象中选择一个对象的网络应用。EZChooser的成功很大程度上源自第2章中介绍的条形图的使用、敏感度线索的提供、对选择过程中涉及的许多复杂的子任务的判别，以及对整个对象选择过程中的心理模型的重要性的认知[⊖]。

6.2.2 任务

Wittenburg及其同事（我们应称他们为“研发者”）最初的研究工作开始于对所支持任务

⊖ 该案例分析中的某些内容和前面章节有所重复。我们这样做的目的是想使读者能够独立阅读该案例分析。

的精确定义（Spence, 2001, p.73）：

假定给定的对象集中的每个对象表示为一组属性，任务是找到一个可接受的对象或一组值得考虑的备选项。

正如他们指出的，从投资决策到同事、双程旅行以及不动产的选择，这个任务有着很广泛的应用范围。

很长时间以来，数据库查询都遵循着严格的流程，但很多研究者已经认识到了这些传统技术的不足之处。正如研发者评论的：

很多情况下查询结果为空，这将导致后续工作变得复杂。很多查询场景中的一个基本问题是，用户在实施查询前并不清楚自己要找的是什么。正确的选择决策取决于可供选择的选项集、对各选项的比较以及多个维度（属性）上的交互。根据了解到的知识，用户可能做出临时的反应（Suchman, 1987）。对于能揭示预料之外解决方案的心理模型的建立，传统的查询方式提供的路线是非直接而且麻烦的。例如，在购车实例中，如果用户发现了比事先设想的更好的担保或汽油消耗定额指标，他们也许会愿意提高最初设定的预算。而传统的查询方式并不能帮助用户轻松地发现这样的信息。

197

研发者的评论很好地反映了他们的文章标题中“探察”的精神。令人失望的是，现有很多在线服务系统并没有重视这个因素。

6.2.3 已有解决方案

在EZChooser出现之前，已经有很多旨在克服传统技术缺陷的设计涌现。例如，tables使用了人们熟悉的数据格式，因此很适合于对通过“削减法”得到的较少选项的考察。EZChooser的研发者专门对tables和EZChooser做了对比。Guides系统通过问一系列问题来帮助用户进行对象选择，但它的一大缺点在于用户无法预料跟随某个特定路径的结果。例如，在旅行实例中，在了解相应的机票价格前，用户可能不愿意选定启程和回程时间。最新的基于代理的推荐系统（agent-based recommender system）根据手机用户的偏好信息提供相应的“解决方案”。但是，用户可能会产生一种不好的情绪：如果对方案的产生过程有足够多的了解，也许他们自己就能提出比系统更优的方案。

研发者对动态查询和属性浏览器这两种帮助用户建立决策空间认知模型的可视化技术进行了详细讨论。

动态查询方法由Shneiderman及其同事在1992年提出，图6-11所示的是一个基于动态查询的“房屋查询”界面。用户可以通过调节右边的属性范围来设定属性的上下限。左图中的点代表满足所有限制条件的房屋。可以手动修改限制条件，左图中的显示会随之即时更新，因此该界面叫做动态查询。我们在第3章中介绍过属性浏览器（Spence and Tweedie, 1998），因此在这里不再赘述。在结合这两种技术的问题上，研发者和Kirsch（1997）的观点一致：系统应允许用户修改问题参数，电子购物系统应“允许”用户进行参数选择的“娱乐活动”。近年来，出现了很多支持多参数对象的灵活查看的例子，例如（Yi *et al.*, 2005）。

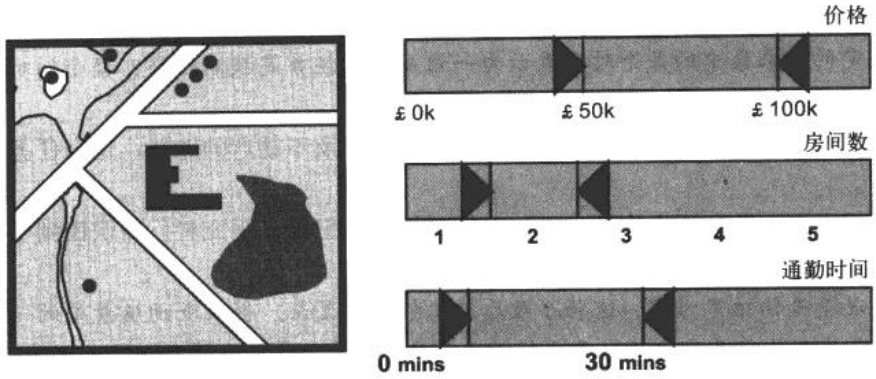


图6-11 动态查询：一个住房查询实例，满足用户设置的属性限制条件的住房显示在地图上

6.2.4 条形图

研发者最重要的设计决定就是条形图的引入。将图6-12a所示的二维条形图中的每个条形首尾相连并忽略任何空缺值的情况，就可以得到图6-12b所示的一维条形图。对应于二维条形图里每个条形的高度，对象数目在一维条形图里表示为条形的宽度。条形图具有以下特性：

1）传递的数值分布信息较少。例如，没有显示空缺数值和奇异值。

2）没有说明条形图里相邻对象的值是否也相邻。

3）具有普遍性：可以用于表示数值型（数据、文字）、顺序型或类别型数据。

4）可以同时使用多个条形图来表示多个属性。

5）简单。

6）占用空间较小。

第3）～6）条优势弥补了第1）～2）条的不足之处。

6.2.5 预示

研发者对条形图所提供的预示进行了研究。在实际应用中用户可能会对多个属性感兴趣。因此，平行条形图（parallel bargram，相应论文的标题强调了该方法的重要性）更为适用（见图6-12c）。由于每个对象只在每个条形图中出现一次，因此可以使用扫光来支持多属性信息的探索。每个条形的宽度对应于该范围内的对象数目，因此研发者为每个条形图设置了一个对象向量（见图6-12d）。向量中的图标可以根据具体应用领域进行设定。在条形图上方显示的对象图标可以为条形图加上标签（如汽车实例中的MPG和价格）。通过对象图标的选择，用户可以执行交互式的查询（图6-12e）。查询结果可以反馈在对象向量上，从而向用户展示满足所有属性设置条件的对象。

198 ~ 199

6.2.6 EZChooser

通过对平行条形图的优点和预示特点进行分析，研发者创造了EZChooser的界面。图6-13是一个汽车购买实例。可以看到其中对平行条形图的最大改进在于显示方式：屏幕下方显示了23辆汽车的图片，用户选中了其中一辆。汽车外观是很重要的属性，但它是不可量化的，这对基于数值型、顺序型和类别型数据的传统查询系统提出了一个很大的考验。由于每个属性行（包括条形图和对象向量）具有最小高度限制，为了在有限区域内显示多个属性，图6-13中使用了滚动条。

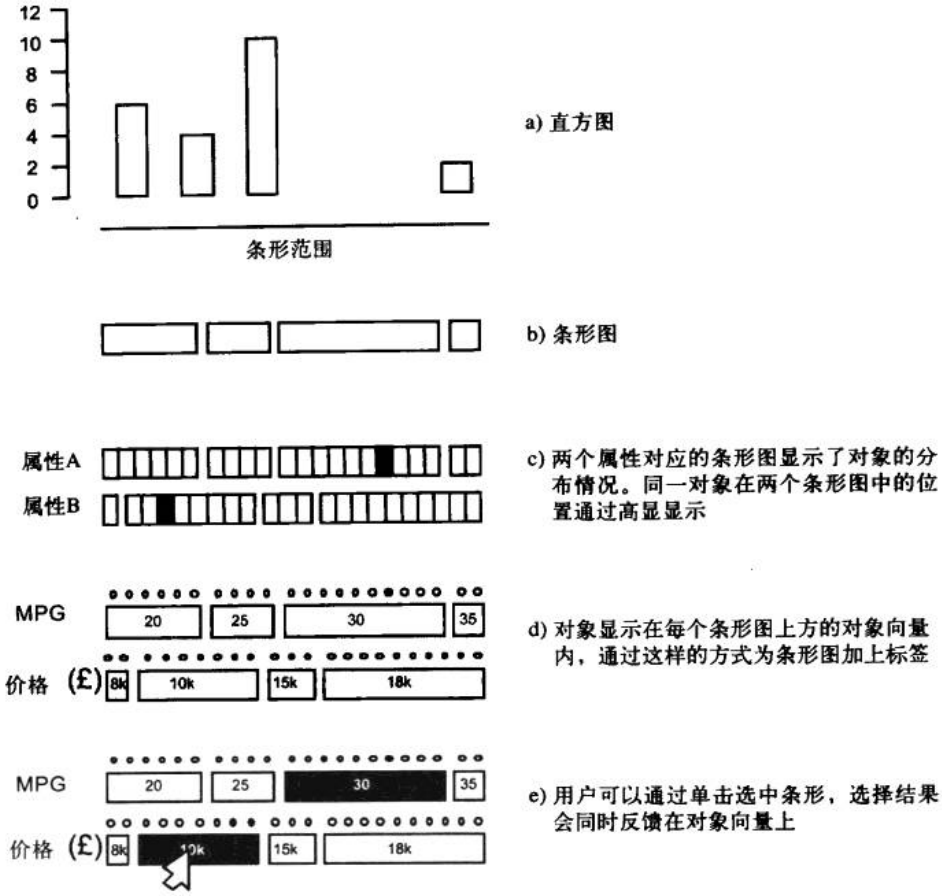


图6-12 条形图、平行条形图和对象向量的设计

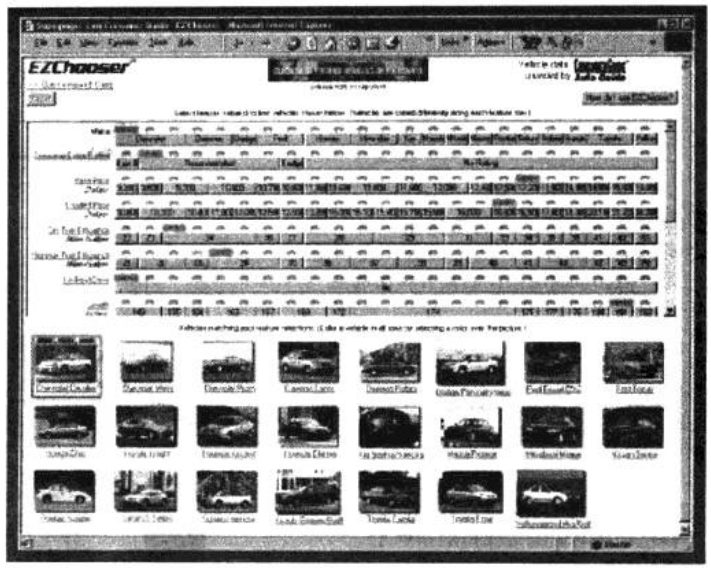


图6-13 EZChooser界面截图（见彩图）

EZChooser中显示的数据有很多种查看方法（我们已经在第2章中介绍过其中一些了），这正是EZChooser的优点之一。例如，可以在图片集中通过扫光选中一辆汽车（系统自动为该汽车图片加上黄色边框，见图6-13），对应条形图中的对象图标也得到高显。很明显的，和其他车相比，图6-13中选中的汽车耗油量大，价格处于中高等价位。在对象向量中选择某个对象图标也可以实现相同的扫光效果。用户可能会想要设置一些属性条件用以查看满足这些条件的汽车数目、外观以及它们不满足的其他属性条件。用户可以点击条形图的任意多个条形来设置一系列属性条件。同一个条形图内选中的条形之间是“或”的关系，而不同的条形图之间是“与”的关系。

EZChooser的另一个特点是通过保持高显效果的“黏性”来提供记忆线索。我们经常在有了一个大概的结论后就想用某种方式对其进行“标注”，这样以后可以较为容易地返回来，同时还可以将其作为比较的基础。实际上，可以从某个特定汽车的对应网页进入EZChooser，即用户可以从细节层次的实例着手，而后进入总图层次。这个特点是非常重要的，它不仅支持一个特别的探察模式，而且强调了“总图优先，然后根据需求显示细节”（Shneiderman, 1996）并不是数据集探察的唯一模式。

200 ~ 201

6.2.7 敏感度

图6-14显示了针对具体应用领域而设计的图标。用户可以通过点击条形来设置属性条件，满足所有需求的汽车在所有对象向量中表示为完全图标（full glyph）。前面提到过，鼠标悬停在这些图标上可以看到对应对象在所有对象向量中的位置。所有完全图标对应的汽车显示在屏幕下方。当完全图标出现在没有被选中的条形上方时，说明如果该条形被选中，条件设置将变得更为严格，但满足条件的集合将不为空。边界图标（outline glyph）表示不满足所有条件的对象，但如果该图标下方的条形被选中，它将变为完全图标。如果没有任何图标则说明其他限制条件已经将该对象排除在外了。这些图标是EZChooser的一个重要特点，但是很遗憾，现在很多网站并不支持这项功能。这种基于图标的信息编码方式重现了第5章中讨论过的敏感度线索。条形表示了SI编码，而图标和加了标签的条形一起构成了SM编码。

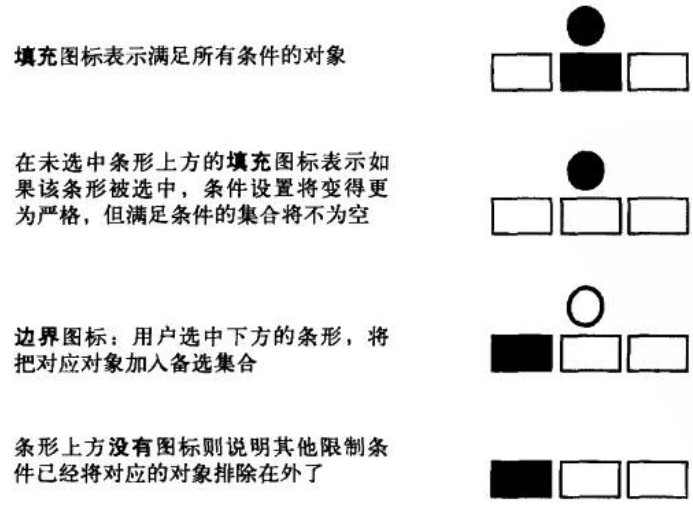


图6-14 各种图标状态以及提供的信息

图6-15是上述图标编码方案的一个示例。用户已经选择了3个用户向导推荐值（第2行），并且设置了一个价格区间（第4行）。满足这些限制条件的4辆汽车显示在屏幕下方，它们对应的属性值显示为每行中的填充图标。点击第2行和第4行中边界图标下方的条形可以将相应对象加入备选集合。

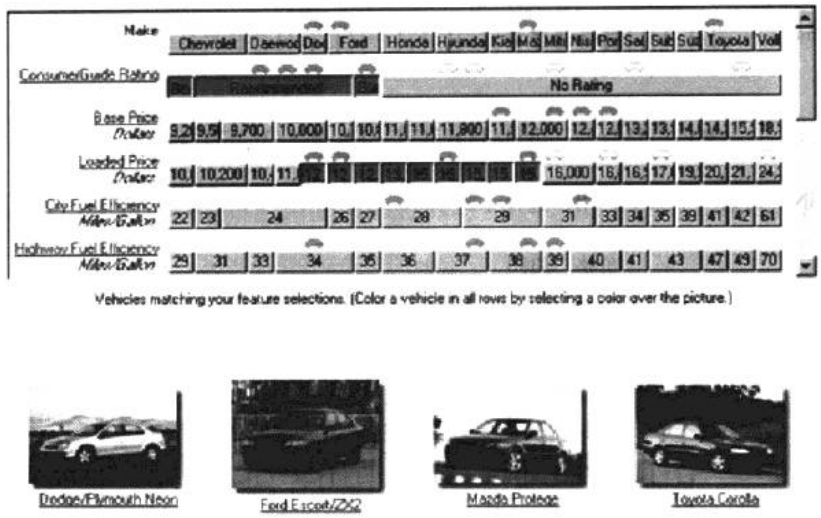


图6-15 在EZChooser中进行的查询。用户已经设置了一些限制条件。每行中的图标表示了属性值之间的关系并为加强限制条件提供了线索

6.2.8 相关工作

在完成了EZChooser的设计后，研发者将它和其他“查询系统”做了比较，虽然这个词不能完全反映EZChooser界面所提供的探察功能和潜在信息启示。

MultiNav（Lanning *et al.*, 2000）是现有基于条形图的两个系统之一，它的第一个原型如图6-16所示。我们可以看到拥有3个属性的27台电视。用户通过点击选择了B厂商，该厂商生产的5台电视在所有属性行上得到高显。图6-17显示了第二个原型，它支持相同的交互，并且每行都可以在水平方向上移动。图中显示，用户将价格条形向左移动了一点，使得一台价格刚好在400美元以下的电视位于显示区域正中。其他行也做了相应的移动使得该电视（B厂商生产的一台19寸电视）在其他条形中的位置和价格条形中的位置对齐。该电视及细节信息显示在屏幕下方。MultiNav的优点在于用户可以观察属性间的相关性，并且通过观察属性条形的移动方向来改变它们的关联性。但是，这个系统最显著的不足在于没有提供任何的敏感度信息，因此用户很难发现一些事实，例如，如果预算提高15美元就能选择一台大一点的电视。

EZChooser研发者的同事们原本计划将MultiNav改造成电子商务应用系统，因此对它进行了一系列的用户测试。然而测试结果显示MultiNav存在着两个可用性问题，由此激发了他们对EZChooser的开发兴趣。MultiNav的第一个可用性问题在于属性行的滑动操作实际上是不常用而且容易引起错误的，相对于普通用户，它可能更适用于专家用户。同样的问题也存在于邻近区域浏览器（Neighbourhood Explorer, Apperley *et al.*, 2000; Spence, 2001）中。当用户设置了一个限制条件（如B厂商）时，MultiNav的第二个可用性问题出现了：用户希望在屏幕下方看到的不是唯一的焦点对象，而是满足这个限制条件的所有对象。虽然邻近区域浏览器中使用了

202 ≀ 204

MultiNav技术，但是EZChooser的研发者还是决定使用鼠标按钮这样用户熟悉的交互方式。

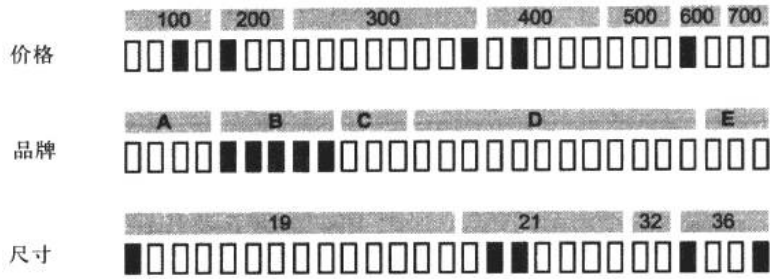


图6-16 MultiNav的第一个原型。用户选择了B厂商，该厂商生产的所有产品在所有属性行上得到高显

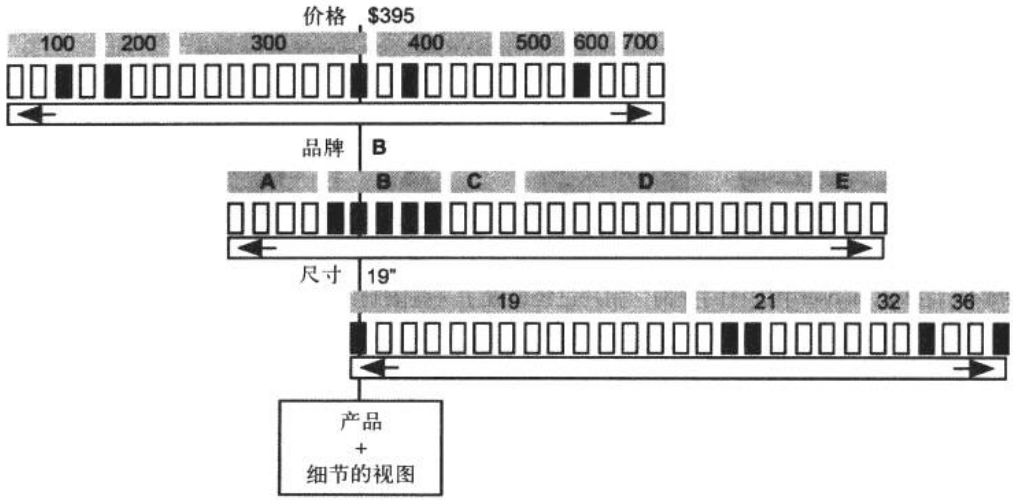


图6-17 MultiNav的第二个原型。用户将价格条形向左移动了一点，使得一台价格刚好在400美元以下的电视位于显示区域正中

InfoZoom（Lindner, 2000）是支持和EZChooser同样功能的另一个系统。针对大型和小型的数据集，它分别使用平行条形图和焦点+上下文的方法。它支持简单的选择和过滤功能（例如，对对象集合的抑制）。鉴于该系统本身的优势，它没有使用对象向量、敏感度信息和对象标注。

研发者以“动态直方图”为题对以上系统进行了细致的讨论，他们认为应该将对象向量和条形图相结合。感兴趣的读者可以参见原文（Wittenburg *et al.*, 2001, p.57）。

6.2.9 评估

研发者将EZChooser和含有相同数据的简单表格进行了对比。实验结果证实了以下假设：“*当数据集较大时，用户倾向于使用EZChooser，并且他们喜欢使用EZChooser*”。而另一个假设“*当数据集较小时，用户倾向于使用静态表格*”则未得到证实。研究者指出，他们的实验只使用了两个大小分别为3和50的数据集，因此还需要对和数据集大小相关的因素进行进一步的研究。他们强调这些结果是初步的，并为所有新颖界面设计师做了如下有趣且鼓舞人心的评论：

……我们应该注意到新颖的可视化系统很少能获得初次使用者的青睐。

6.2.10 评论

研发者创造了EZChooser来支持从多个对象中选择一个对象的任务。它支持灵活的排序、发现和娱乐，反映了支持该任务所应遵循的步骤。EZChooser使用了最简单的按钮点击，结合了条形图和对象向量，更为重要的是，它提供了支持定位的敏感度信息。 205

6.2.11 主要参考文献

Wittenburg, K., Lanning, T., Heinrichs, M. and Stanton, M. (2001) 'Parallel bargrams for consumer-based information exploration and choice', ACM, Proceedings of UIST '01, pp. 51–60.

6.2.12 其他参考文献

Apperley, M.D., Spence, R. and Gutwin, C. (2000) 'The Neighbourhood Explorer', Working Paper 00/3, February, Department of Computer Science, University of Waikato, New Zealand.

Kirsch, D. (1997) 'Interactivity and multimedia interfaces', *Instructional Science*, 25, 2, pp. 79–96.

Lanning, T., Wittenburg, K., Heinrichs, M., Fyock, C. and Li, G. (2000) 'Multidimensional information visualization through sliding rods', ACM, Proceedings Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI 2000), pp. 173–180.

Lindner, H-G. (2000) 'Knowledge reporting with InfoZoom', SAP Design Guild, Innovation Second Edition, 12/22/2000, http://www.sapdesignguild.org.

Shneiderman, B. (1996) 'The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualization', IEEE, Proceedings Workshop on Visual Languages '96, pp. 336–343.

Spence, R. (2001) *Information Visualization*, Harlow, Addison-Wesley,

Spence, R. and Tweedie, L. (1998) 'The Attribute Explorer: information synthesis via exploration', *Interacting with Computers*, 11, pp. 137–146.

Suchman, L.A. (1987) *Plans and Situated Actions*, Cambridge, Cambridge University Press.

Williamson, C. and Shneiderman, B. (1992) 'The Dynamic Housefinder: evaluating dynamic queries in a real estate information exploration system', ACM, Proceedings SIGIR '92, pp. 339–346

Yi, J.S., Melton, R., Stasko, J. and Jacko, J.A. (2005) 'Dust & Magnet: multivariate information visualization using a magnet metaphor', *Information Visualization*, 4, 4, pp. 239–256.

6.3 基于锁眼的网页浏览

6.3.1 寻找新闻

"追踪热点新闻"是我们熟悉的日常活动之一，我们通常通过访问许多新闻频道来实现新闻的实时更新。然而，随着手机和PDA的普及，人们越来越习惯于在手持移动设备上读新闻，从而摆脱地点的限制。但是这些设备上的显示区域比传统的显示器小很多，这就为系统设计带来了很多挑战。以下的案例分析将展示这些设计挑战：一个用户想在PDA上快速评估10条或

206 者20条新闻，从中迅速选择出最感兴趣的一条。

6.3.2 问题定义

图6-18显示的是在普通大小的传统显示器上的一个新闻网页，里面有各种新闻内容。我们将图片及其带链接的简介文字称做“链接预览”（link preview）。在没有交互的情况下（例如第5章中介绍的“被动式交互”），用户可以仔细阅读这些内容，然后从中选择感兴趣的对象。在不使用某些交互的前提下，用户在使用显示区域小得多的PDA上无法阅读整个网页的内容，因此相同的评估行为以及气味的形成是不可能实现的。



图6-18 一个典型的新闻网页，黑色边框内是链接预览

一种解决办法是保持页面内容不变，而通过滚动来阅读网页的各个部分。但是要查看完整个网页的所有内容以及定位线索（第5章中已经介绍过了SM和SI）需要耗费很多的时间，这是实际应用中所不允许的。另一方面，为了进行繁琐的滚动操作，用户不得不记住已看过部分的内容和线索。

另一种解决办法是用简单的文字链接取代所有或大部分的图片内容，从而避免滚动操作（见图6-19）。不幸的是，图片或图标常常提供了很多的定位线索，取消这些内容将严重降低用户构建气味的能力，从而不能有效地确定感兴趣的对象。

毫无意外的，很多研究者（Woodruff *et al.*, 2001; Cockburn *et al.*, 1999; Ayers and Stasko,
207 1995）致力于用缩略图（目标页面的小型拷贝）来表示超链接（如SM和SI）。缩略图可以提供强大的定位线索。但是Kaasten等（2002）指出，要想使用缩略图，必须将很大一部分显示区域分配给缩略图，但是手机和PDA上并没有足够的显示区域。

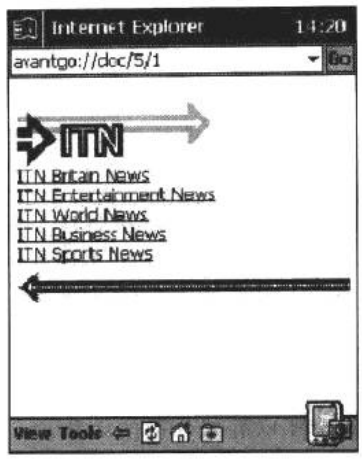


图6-19 用菜单替代图片内容可以避免滚动

6.3.3 解决方案

为了克服显示区域小的局限性，同时保留设计良好的图片所带来的强大的定位线索，de Bruijn和Tong（2003）提出了快速序列视觉表示（RSVP）的概念（详见4.2节）：顺序地显示链接预览集合中的每一个链接预览（见图6-20），而不是一次性显示所有链接预览。利用RSVP概念，每个链接预览可以顺序占据整个显示区域。同传统网页一样（见图6-18），顺序显示的页面中的图片和简介文字占据大致相同的空间。这个设计决策是本案例分析中最主要的决定。

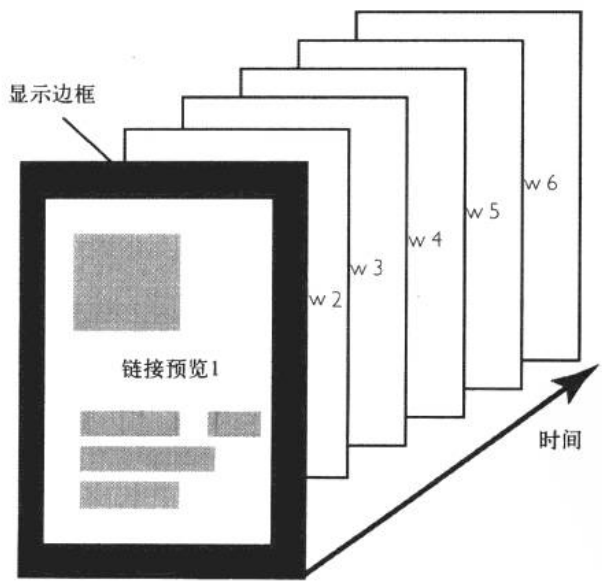


图6-20 链接预览的顺序表示，每个链接预览依次占据整个显示区域

在决定将链接预览顺序而非同时地显示后，研究者仍面临很多问题，特别是由有限显示区域产生的问题。虽然顺序显示的链接预览提供了有用的定位线索，但是还存在一些定位和交互方面的问题。

本案例分析建立在如下情景中：用户可能想看看网页上有哪些新闻，也可能想看看哪些新

闻频道上有他感兴趣的某个话题。

6.3.4 RSVP浏览器

图6-21所示的是一个叫做RSVP浏览器的实验性系统。它提供了两层菜单系统，每层中的可选项用幻灯片RSVP模式（而非静态模式）加以描述。因此，所有新闻对象都表示为两个链接预览。图6-22显示了一个链接预览及其对应的新闻对象。实际上，链接预览的设计和大型显示区域中的新闻对象的描述相差无几。只要用户使用的是视觉处理系统，图6-21所示的链接预览顺序显示的效果就和用户扫描图6-18所示的大型页面而在视网膜凹点上留下的连续图片非常类似。我们可以认为顺序表示可以让用户免于视觉凝视策略的制定，从而可以将更多的时间花在每个新闻对象的解释上。正如de Bruijn指出的：

……阅读内容和跟踪链接是两个可以有效分离的活动。

用户首先看到的是标题为“ITV新闻”的静态视图。通过命令触发第一层上的链接预览的幻灯片显示模式。同样的显示方式循环出现直至用户停留在某链接预览上（见图6-21中的B）。随后进入第二层显示，幻灯片模式同样持续直至用户选中某个新闻对象（图6-21中的B2）。使用命令可以实现该新闻对象的阅读，当对象超过一页时，系统支持翻页。

208 ~ 209

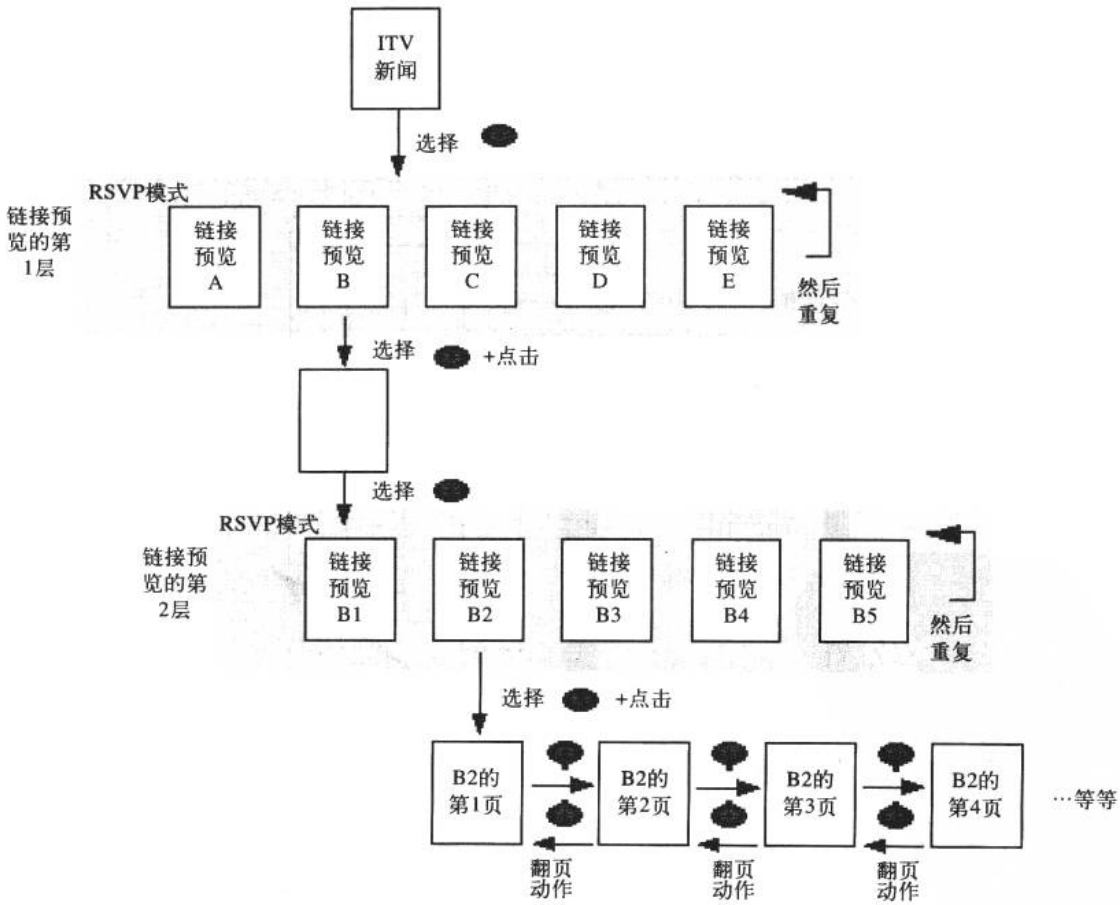


图6-21 RSVP浏览器示意图。在图中所示的两个层次中，对象均显示在循环的幻灯片模式中直至用户选中某个对象。图标显示该交互需要按下PDA的主控按钮。图6-24显示了交互效果的细节

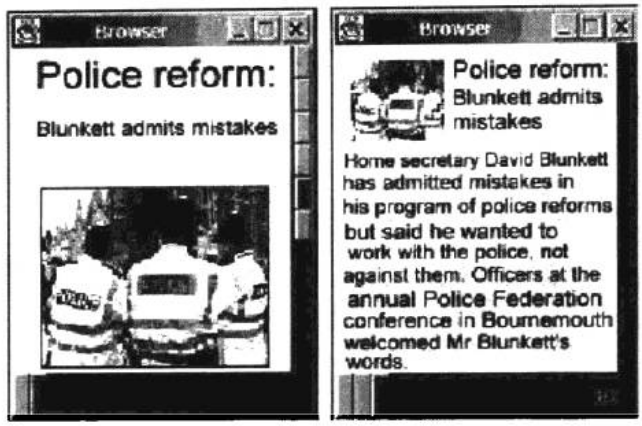


图6-22 a）链接预览模式；b）某个新闻故事的页面浏览模式。该故事可以超过一页（图片感谢Oscar de Bruijn和Chieh Hao Tong惠允）

6.3.5 系统设计

每个链接预览应显示的时长是研究者关心的主要问题。如果时长太短，用户可能没有足够的时间对链接预览进行解释，但时长太长也是用户所不愿意看到的。根据用户偏好，研究者最终选定的显示时长为半秒。 210

虽然链接预览可以提供强大的定位线索，研究者还是引入了其他增强定位的技术。首先，图6-23中右边链接条中的每个小方块代表一个链接，它们实现了“万能可见性”（universe visibility）。为了标明当前显示的链接预览在链接预览序列中的位置，对应的小方块得到高显，用户可以随时暂停并选择另外的链接预览。链接预览可以帮助用户回答“我从当前位置可以去哪里”的问题。研究者同时也意识到了Tauscher和Greenberg（1997）的发现：已采取活动的历史信息可以为用户提供强大的定位支持。在RSVP浏览器中，这类信息显示在“历史记录条”（图6-23）中，其中的小方块表示已访问过的页面。信息条同样也提供了有用的定位信息：在链接预览模式中，条状代表当前显示的链接预览在整个序列中的位置，在页面模式中，条状代表当前显示的页面在构成某个新闻对象的所有页序列中的位置。

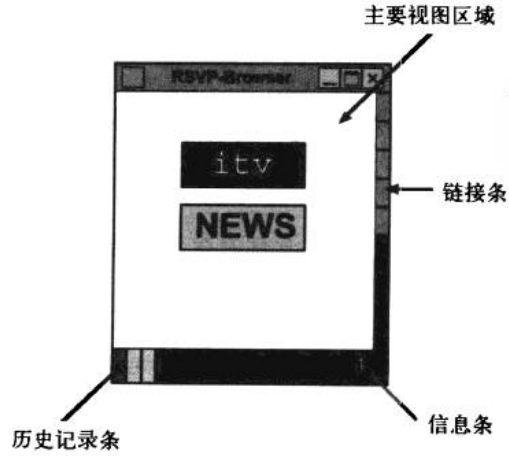
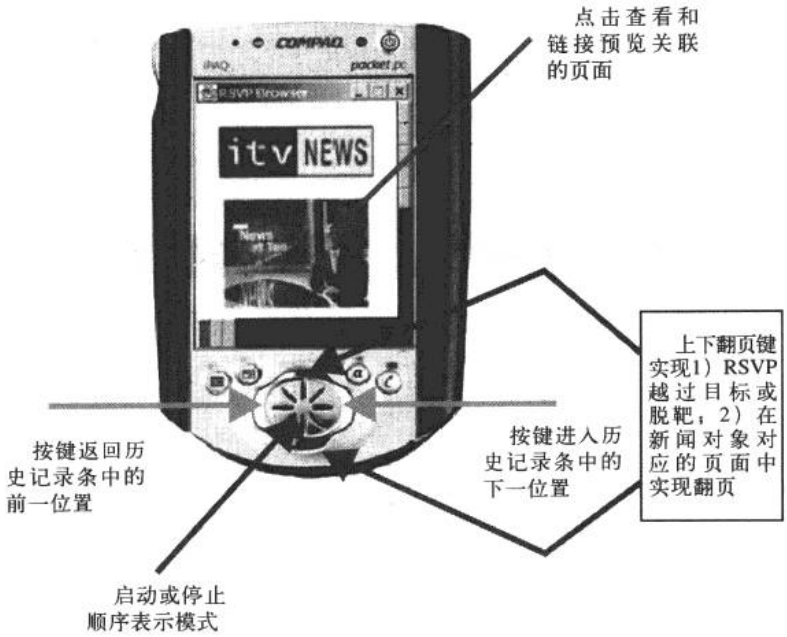


图6-23 用作定位支持的链接条、历史记录条和信息条（图片感谢Oscar de Bruijn和Chieh Hao Tong惠允）

研究者使用了PDA上的控制按钮（图6-24）来研究单手用户交互在RSVP浏览器中的实现。在系统的最终版本中使用了PDA底部的四个方向控制键，从而避免了触控笔交互带来的问题：在触摸屏幕时，如果需要保证精度则必须使用双手交互。



211～212

图6-24 RSVP浏览器的定位控制

6.3.6 评估

研究者将RSVP浏览器和微软的Internet Explorer的便携版本（Pocket IE）做了比较测试，两个系统均在Compaq IPAQ PDA上运行。30名人员参与了实验，他们被要求从5个新闻对象中获取信息。通过和相同条件下大家熟悉的浏览器的比较，研究者对基于手持设备的RSVP交互模式进行了测试。

研究者随机选中参与者中的15名来使用RSVP浏览器，另外15名使用Pocket IE。为参与者分配的任务尽量保证实际性以及设备无关性。每个参与者被要求回答8个问题，以下是一个典型的问题：

由于铁路附近发生了一系列的爆炸，Belfast和Dublin之间的火车交通被关闭了。爆炸的原因找到了吗？

[答案：没有]

图6-25显示了评估的所有步骤。首先，没有为参与者提供RSVP浏览器和Pocket IE的使用说明。这使得研究者可以观察新的操作模式以及用户在执行8个任务前后的行为对比。在回答第2～6个问题时，参与者可以向研究者求助。在回答第1个和最后2个问题时，参与者不能提问。这种方法（Moyes and Jordan, 1993）带来了一些有趣的启示。视频记录下了参与者的所有动作以方便对用户交互的后续评估。我们首先讨论对用户行为的度量，然后讨论用户喜好。

Q1	Q2～Q6	Q7～Q8
无使用说明	参与者可以向研究者求助	无帮助

图6-25 在RSVP浏览器评估过程中为参与者提供的帮助

1. 用时

毫无意外的，由于不熟悉RSVP浏览器，用户回答第1个问题时所花费的平均时间是传统IE的5倍（见图6-26）。但是，这两个系统在接下来的6个任务中的完成时间没有明显的差别。 213

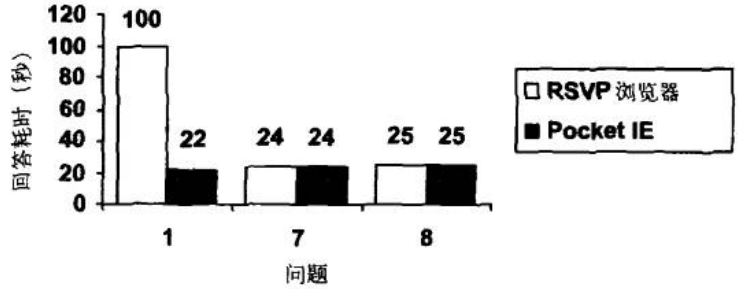


图6-26 分别利用RSVP浏览器和Pocket IE回答第1、7、8个问题所耗费的平均时长（取整到最近的秒数）

2. 操作数

图6-27显示了回答第1、7、8个问题的过程中用户采取的不必要的操作数目。一个典型的不必要操作是选择了不正确的链接预览。竖直方向上的条形表示不必要操作的数目/最少操作数目。我们再次看到，随着在前几个任务中对系统的熟悉度的增加，RSVP浏览器和Pocket IE在不必要的操作数目方面没有明显差别。

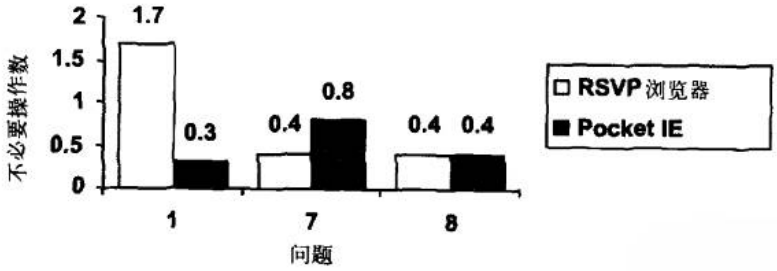


图6-27 分别使用RSVP浏览器和Pocket IE来回答第1、7、8个问题的过程中采取的额外（不必要的）操作的数目

3. 个人偏好

同任何可用性测试一样，研究者对参与者做了面谈以收集不能被量化的信息。在回答完8个问题后，参与者通过回答调查问卷上的一系列问题来表达他们对所使用系统的感受。例如，问题“你认为问题的答案容易找到吗？”有四个待选项：“很容易”、“容易”、“无关紧要”、“困难”、“很困难”。

参与者认为RSVP的操作反应速度很快（每秒2个操作）或者可以接受（见图6-28）。和识别物体所需的100毫秒下限（见4.2节）相比，500毫秒的显示时长是足够的同时也是必需的， 214

因为用户需要时间进行解释和评估，从而判断某个新闻对象是否和待回答的问题相关。用户反馈显示，500毫秒应该是RSVP浏览器的下限。实际应用中，最好让用户自己设定幻灯片模式的切换速度。

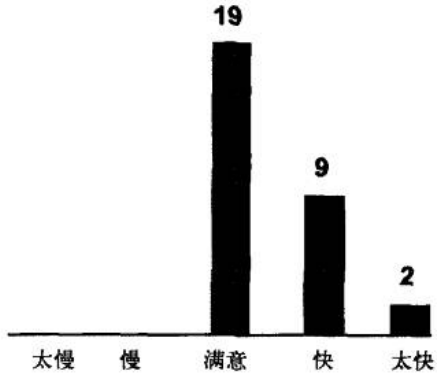


图6-28 参与者感知到的RSVP的显示速度

调查问卷还显示，和Pocket IE相比，使用RSVP浏览器的大多数参与者感觉自信或非常自信他们掌握了系统的所有功能。

6.3.7 讨论

用户行为度量和主观评分都显示，和Pocket IE相比，用户对RSVP浏览器的不熟悉在初始时使得该系统处于劣势。而Pocket IE的交互模式更接近于用户期望的PDA的交互模式。但是，当用户花时间对RSVP浏览器进行体验后，无论在此过程中有无外界帮助，该系统初始时的劣势消失了，而更多的优势得到了体现。RSVP浏览器将故事分为很多页面的做法显著地降低了在文字文件中滚动所需的认知成本。RSVP浏览器简单的交互模式保证用户在不需要大量训练的前提下就可以自信掌握了RSVP浏览器的所有功能。

6.3.8 评论

同其他案例分析一样，本案例强调了设计受很多因素影响这一事实。在撰写这本书时，业界仍然对PDA或手机上查看网页这一任务的最佳实现方法存在着争论。但本案例至少表明了RSVP浏览器是手持设备上传统的网页浏览器的可行的替代物。

215

考虑到RSVP浏览器的实用性，还有很多技术问题需要讨论，如服务器-客户模式以及网页标准等。对此感兴趣的读者可以参考下面列出的主要参考文献。

6.3.9 主要参考文献

de Bruijn, O. and Tong, C.H. (2003) 'M-RSVP: mobile web browsing on a PDA', in O'Neill, E., Palanque, P. and Johnson, P. (eds) *People and Computers – Designing for Society*, London, Springer, pp. 297–311.

6.3.10 其他参考文献

Ayers, E. and Stasko, J. (1995) 'Using graphic history in browsing the World Wide Web', in Proceedings of the 4th International WWW Conference, December.

Cockburn, A., Greenberg, S., McKenzie, B., Smith, M. and Kaasten, S. (1999) 'WebView: a graphical aid for revisiting web pages', in Proceedings OZCHI '99, November.
Kaasten, S., Greenberg, S. and Edwards, C. (2002) 'How people recognise previously seen web pages from titles, URLs and thumbnails', in *'People and Computers XVI'* (eds Faulkner, X., Finlay, F. and Detienne, F.), Proceedings HCI 2002, London, Springer, pp. 247–265.
Moyes, J. and Jordan, P.W. (1993) 'Icon design and its effect on guessability, learnability and experienced user performance', in Alty, J.L., Diaper, D. and Guest, D. (eds) *People and Computers VIII*, pp. 49–59.
Tauscher, L. and Greenberg, S. (1997) 'Revisitation: patterns in world wide web navigation', ACM, Proceedings CHI '97, pp. 399–406.
Woodruff, A., Faulring, A., Rosenholtz, R., Morrison, J. and Pirolli, P. (2001) 'Using thumbnails to search the web', ACM, Proceedings CHI 2002, pp. 198–205.

6.4 通信分析

6.4.1 命令和控制

通信对于许多活动特别是对分布式安全性要求很高的活动中的命令和控制（如炮战、执法或军事行动）而言是非常重要的。在这些环境中，分布于不同地点的多个小组要在危险的条件下达到共同目标。其中产生的消息不仅对取得最后胜利至关重要，还可以为关键人物的表现提供观察性回溯。通信分析（communication analysis）可以为命令控制系统的重设计提供宝贵的信息。

216

为了方便通信分析，瑞典国防部研究局的Morin和Albinsson开发了一个名叫MIND的系统用于支持系统开发、行为评估和训练。简要说来，MIND支持两类主要活动：重建（reconstruction）和探索（exploration）。前者涉及为分布式工作会话建立多媒体模型，该模型包括声音、视频、图片、声明、日志文件以及运行环境中的多源位置数据。探索是本案例支持的第二类主要活动，主要涉及对模型中数据的渲染和探索式分析。

6.4.2 系统要求

这样的系统应满足哪些要求？可以通过它回答哪些问题？可以确定的一点是，必须保存上下文数据并令其可访问：对系统的全面理解不仅需要关注发出的消息，更要关注消息发送的环境。我们在第4章中已经讨论过，应该利用上下文数据来支持分析者在大量数据中的定位。信息查询过程中的一个主要问题是查询的理解和构建，因此查询应该是动态的。这对于问题提出和问题解决相互关联的复杂社会技术系统是非常重要的。然而，问题通常是不能预测的，因此系统需要支持灵活的分析。针对“各人员的当前位置”、“他们在干什么”、“给他们分配了哪些任务”以及“通信系统的当前状态”等问题，回答必须是快速的。对数据集的不同角度的快速探察可以帮助我们回答问题和发现需要探察的问题。

6.4.3 MIND工具

考虑到上面讨论的以及其他一些系统需求，针对紧急救援和军事行动中指挥官控制命令的信息识别需求，研究者开发了上下文相关方法和探索式工具。对于本书而言最有趣的是他们选择了第3章中介绍的属性浏览器来实现复杂敏感的通信数据的分析。下面的实例来源于一个军

事训练中用到的MIND工具的界面。

6.4.4 探索式分析

MIND系统中的属性浏览器有助于对通信数据记录的分析。图6-29是该重要部件的简单示意图，其中只显示了通信数据的三个属性。该系统用于对指挥官QJ收到的所有来自其他小组的通信数据以及持续较长的通信序列的分析。如图6-29所示，发起者中有三个小组被选中，QJ
217 是被选中的接收者，长度（时长）设为30秒到2分钟之间。绿色元素说明RJ和SJ是通信的初始发起者且通信时长均较长。颜色传递了额外的上下文信息。例如，时长维度上选定区间外的黑色元素表明QJ确实收到过一些较短和较长的消息，但没收到过特别长的消息。发起者维度上的JC等灰色元素代表不满足筛选条件的元素，即说明JC从未向QJ发起过通信。

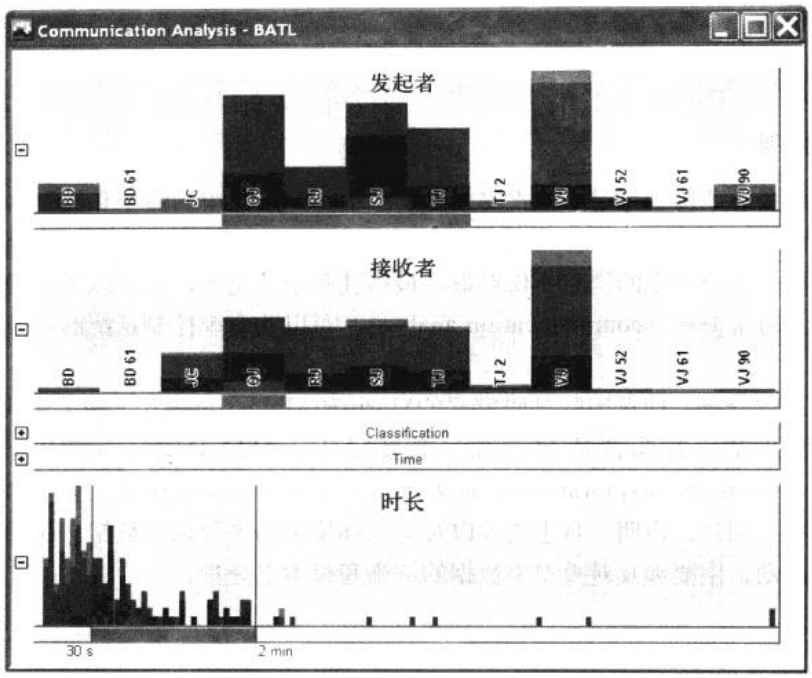


图6-29　属性浏览器在通信系统中的应用示意图（见彩图）

6.4.5 情景

正如前面提到的，属性浏览器是MIND系统中最重要的部件。它的优势在于对多维度数据的多种表述。MIND系统的另一个重要部件是第3章中介绍的结点连接图。我们将通过MIND系统在军事训练中的应用来展示这些技术的应用以及属性浏览器为分析者带来的益处。

图6-30中的MIND系统界面展示了分析者如何跟踪某个小组在某个特定时间段内的任务执
218 行情况。在时间维度上将时间段设置为大约半小时，发送者限定为当前感兴趣的TJ，接收者设定为TJ的上司，信息类别设定为“报告”。我们可以观察TJ如何发送定期进度报告（时间维度上的绿色元素）。相关报告的信息显示在MIND系统的左下角，以便分析者回顾、重现原始通信，以及对某个特定通信的不同MIND视图做同步。界面还提供了对所选通信的发生地点的地图视图。右上角的结点连接图显示所选时段内的所有通信记录。属性浏览器同样提供了一些信息。例如，在接收者维度上的设定范围外不存在黑色元素，说明TJ只向（三个）上司做过报告。

同样的，在选定的信息类别外没有黑色元素，说明TJ只在该时段内发送过报告。对通信时长维度的检查发现除了一个总结报告通信外，其他所有通信持续时间都较短。

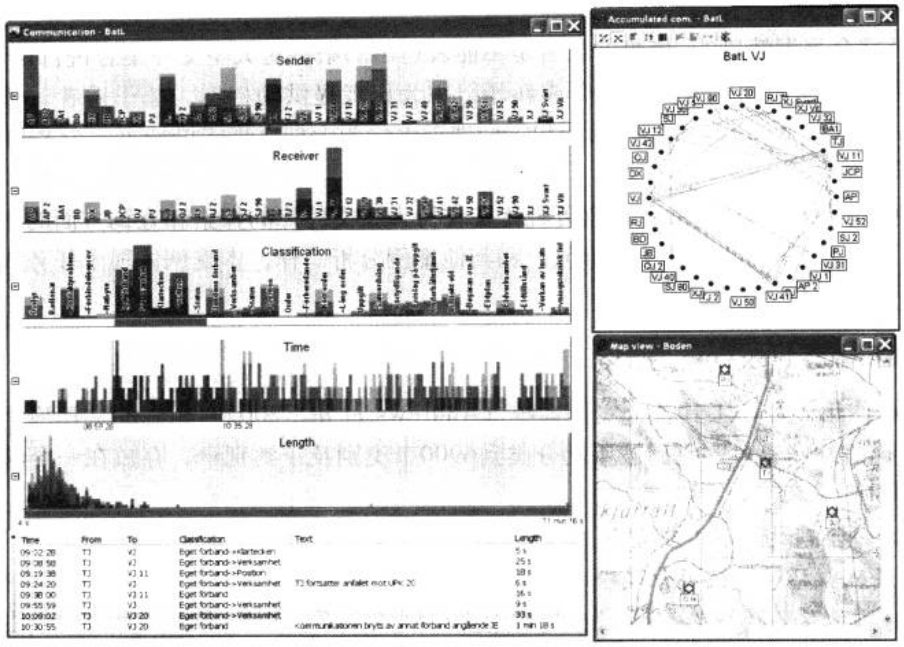


图6-30 支持通信行为分析的MIND系统界面（见彩图）

6.4.6 结论

和MIND类似的数据记录的交互式显示系统（Albinsson *et al.*, 2003）实现了信息识别和对指挥者的需求支持。分析者不仅可以找到问题的答案，还可以发现需要回答的新问题。这对于问题提出和问题解决相互关联的复杂社会技术系统是非常重要的。研究者指出，加了标注的数据集可以用作教学工具。 219

MIND系统结构是很有用的，现在还在进一步开发中。未来的发展方向之一是为不同的数据视图建立更强大的联系。对于任何的改进都应进行评估。然而，MIND系统中属性浏览器的研发者指出，将该系统和其他浏览器技术进行对比的正式评估可能是一个非平凡的任务并且没有太多的生态相关性。“我们不是想证明这个方法是理想的或正确的，我们更看重它是真实的，实际的使用可以提供更多的启示”（Albinsson *et al.*, 2003）。

6.4.7 主要参考文献

Albinsson, P-A., Morin, M. and Fransson, J. (2003) 'Finding information needs in military command and control systems using exploratory tools for communication analysis', Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, The Human Factors and Ergonomics Society, pp. 1918–1922.

Morin, M. and Albinsson, P-A. (2005) 'Exploration and context in communication analysis', in Bowers, C., Salas, E. and Jentsch, F. (eds) *Creating High-Tech Teams: Practical Guidance on Work Performance and Technology*, Washington, DC, APA Press, pp. 89–112.

6.5 文档银河

6.5.1 大型文件集合

用户经常会根据精确的、模糊的或者是不能表达出的条件对大型文件集合进行探索或查询。文档类型多种多样，如个人文献集合或新闻组织为记者提供的档案。基于后者，位于奥地利Graz的Know-Center Graz、Hyperwave和Graz理工大学为大型文档库设计了一个名为InfoSky的可视化工具。

本案例分析的目的在于展示信息可视化在支持大型文件库的探索和查询方面的作用，以及对数据进行空间管理的特殊算法的价值。和其他案例分析一样，本案例体现了任务本质对可视化工具设计的影响。

6.5.2 背景和需求

InfoSky使用了和该工具首个实例系统（Andrews *et al.*, 2002）相同的文档库。库中包含109 000篇德语新闻资料，它们被手动分类到6900个类别及子类别中，存放在一个深度为15层
220 的层次结构中。

InfoSky需要满足以下主要需求：

- 可扩展性：系统应该可以轻松地对层次结构中上百、上千甚至上百万的文件进行可视化。
- 层次+相似度：不仅要展示层次结构中文件间的关系，还应显示层次结构中没有直接体现的单个文件间的相似度。
- 焦点+上下文：应平滑地引入信息空间的全局和局部视图。
- 稳定性：一个稳定的隐喻应能够激发视觉回忆和特征识别。即使局部层次上的文件结构发生变化，数据编码也应在全局层次上保持基本不变。
- 探索：为浏览和搜索提供的交互应该是明确易懂的。

6.5.3 早期工作

早在InfoSky出现数十年前就已经有大量支持文件库探索和查询的创新型技术出现。虽然它们并没有实现InfoSky支持的所有功能，我们认为还是应该首先分析这些技术的主要特点。

- BEAD（Chalmers, 1993）——根据关键字对文件分类，这些类别显示在一个2.5维场景中，标签用于显示不同的类别（见图6-31）。系统不允许手动分类，原始数据无组织，没有使用任何层次结构。

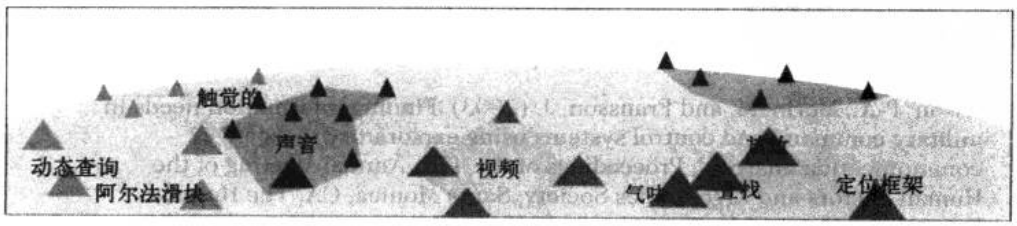


图6-31 文件库的风景编码（见彩图）

- 在SPIRE（Wise *et al.*, 1995）系统中（图6-32），在高维语义空间中的“邻近”文件被自动放在二维空间中的邻近位置。海拔高度表示相似度。文件库无组织，没有使用任何层
221 次结构。

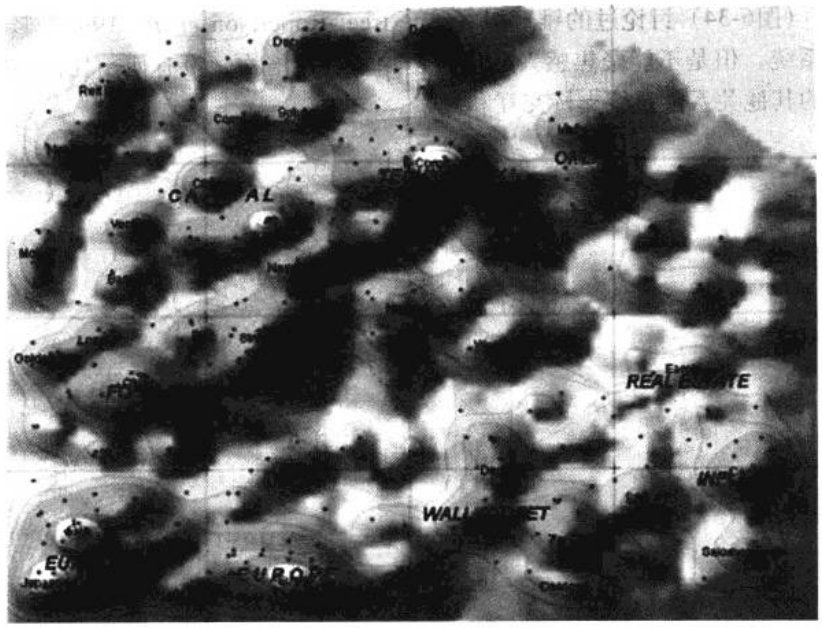


图6-32 关于金融行业的700篇文章的主题编码（见彩图）

- 我们已在第3章中（见图3-95或本节中的图6-33）介绍过双曲线浏览器（Lamping and Rao, 1994）。它实现了层次系统的交互式编码，允许在层次结构中的平滑探索和直接活动。变形技术的使用使得用户聚焦在树中选定区域的同时还能保持对上下文信息的认知。除了先验层次组织，没有使用任何内容、关键字或文件间的其他关系。虽然系统没有提供搜索功能，但是该功能是可加入的。

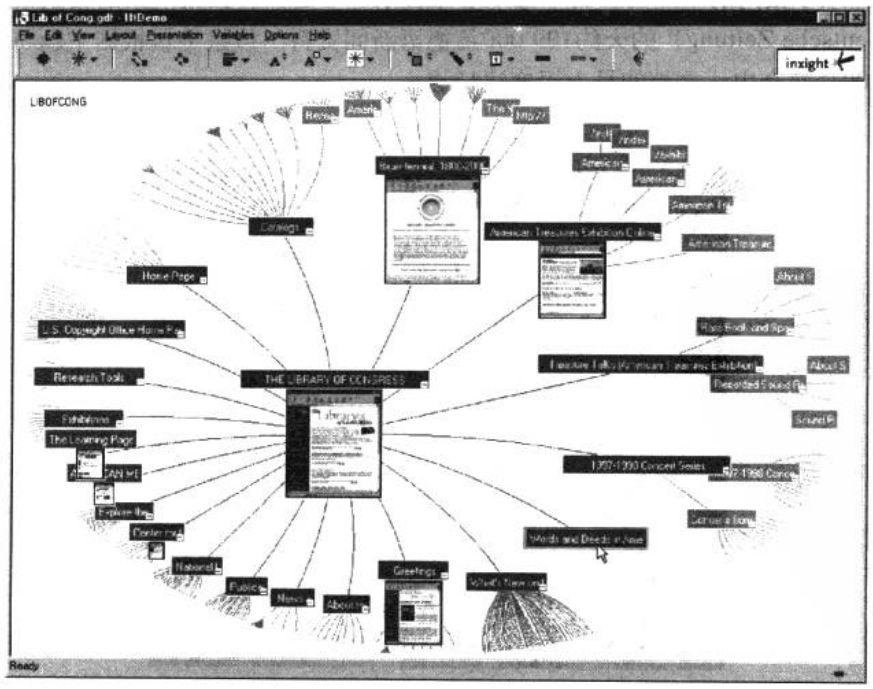


图6-33 层次组织的文件库的双曲线编码

- 第3章中（图6-34）讨论过的锥形树（cone tree, Robertson *et al.*, 1991）紧凑地显示了一个层次系统，但是不能聚焦感兴趣区域。除了层次结构，没有使用任何内容、关键字或文件间的其他关系。系统支持交互和搜索。

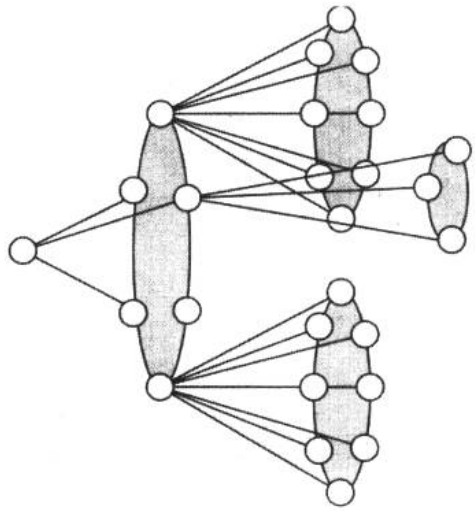


图6-34 侧放的锥形图保证每个结点的标签可读。可以加入变形来实现聚焦功能

6.5.4 设计决定

根据以上需求，设计师决定使用银河系的隐喻来表示文件库以及库内的文件，并使用望远镜的隐喻通过变量放大和语义缩放来实现在任何细节层次上的探索。

图6-35显示了银河的全局图，其中每个星球表示一个文件。该银河系的数据来源为南德意志报（Suddeutsche Zeitung）的大约109 000篇德语新闻资料。该报编辑根据主题将这些文档归类到大约6900个集合中，文档的最大深度达15层。

222
~
223

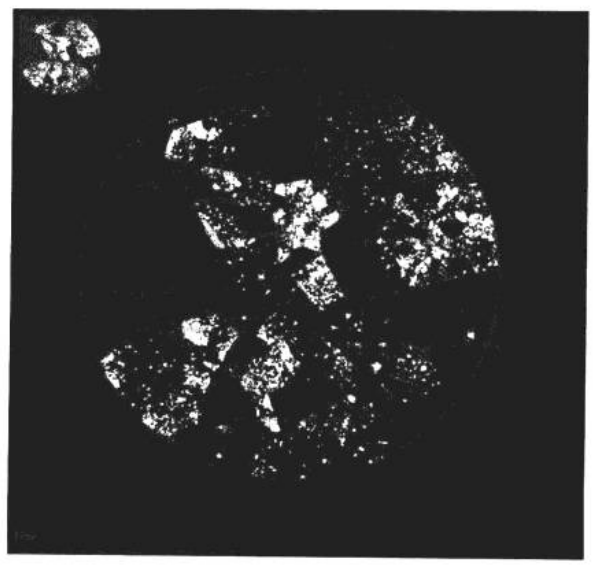


图6-35 整个银河视图，显示了最高层次上各集合的标题以及集合间的边界

图6-35中显示了最高层次上主要集合的标题，如德国各联邦州（Bundeslander Deutschlands）。对应的子集显示在各边界内。层次结构上各层的组织方式相同。例如，图6-36中的“德国各联邦州”被选中，对应的子集被放置在显示区域中央，同时显示各子集的标题，如拜仁州（Bayern）。选择拜仁州的经济区（Wirtschaftsraum Bayern）令该子集得到高显（图6-37），选择该子集则将下一层上的子集显示在中心位置（图6-38）。这个过程可以一直往下进行直到文件名得以显示（图6-39）。

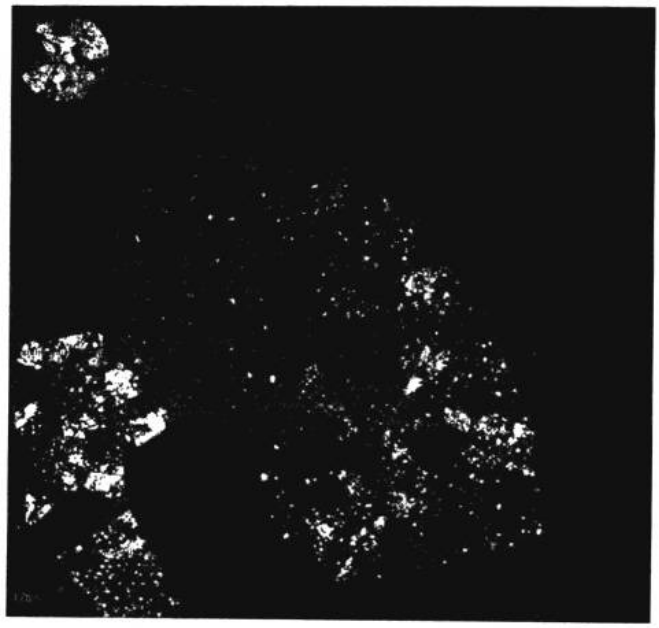


图6-36 德国各联邦州对应的视图

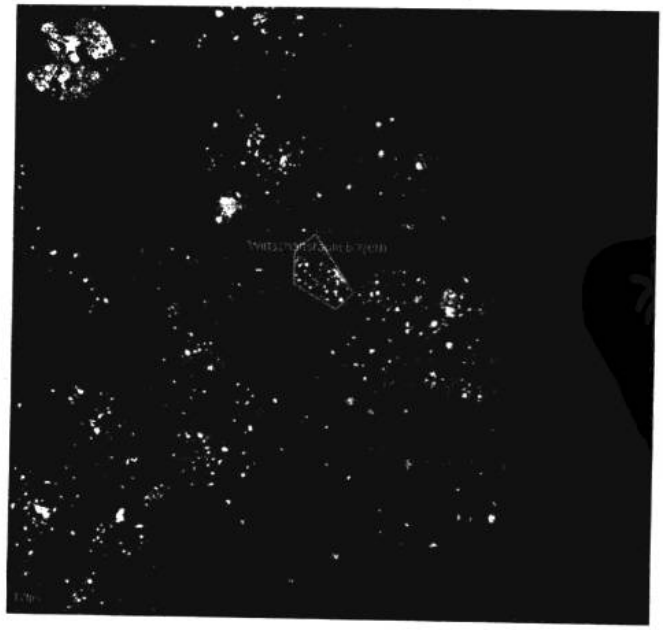


图6-37 在图6-36中选择拜仁州得到的结果。鼠标悬停在拜仁州的经济区



图6-38 选择拜仁州的经济区得到的结果



图6-39 文档标题在最底层视图可见

6.5.5 交互和查询

银河系的交互很简单且在所有层次上保持一致。在标签上单击鼠标左键将触发到下一层次的语义缩放，单击鼠标右键实现回溯。按下鼠标左键不放导致连续语义缩放以帮助用户迅速到达某个已知位置。每层上的层次结构使得每个集合保持了一定的边界形状，从而易于记忆。

用户可以进行基于关键字的查询，符合条件的区域和文档都将得到黄色高显（图6-40），

闪动的文档将其和背景区域区分开来，这样可以查看查询结果所处的上下文信息。

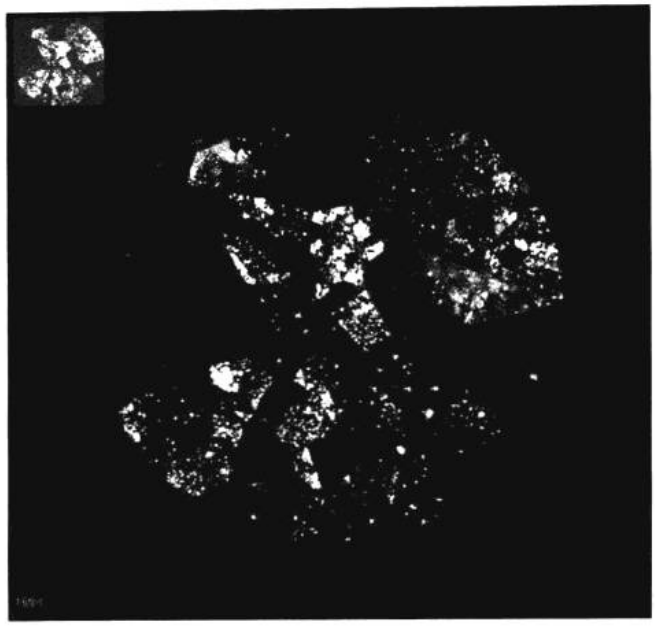


图6-40 符合查询条件的区域和文档都得到高显（见彩图）

6.5.6 布局

各集合的边界（图6-41）由两个因素决定。每个多边形区域的面积和内部文件数目成正比。每个区域的中心位置受子集内文件的相似度影响。

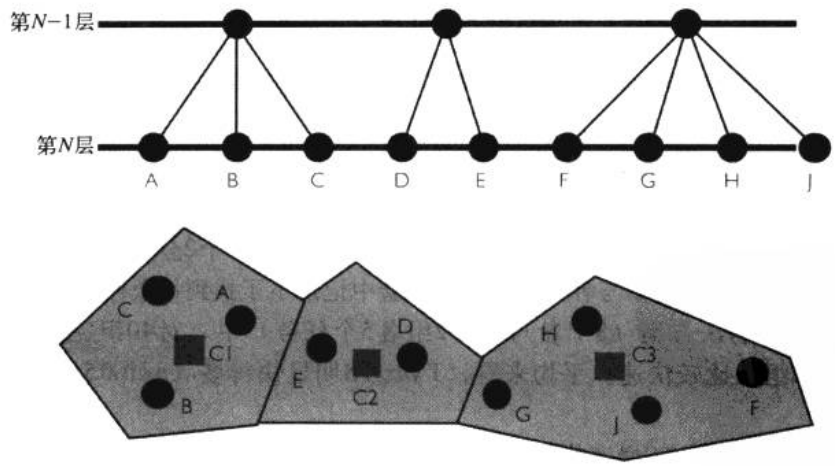


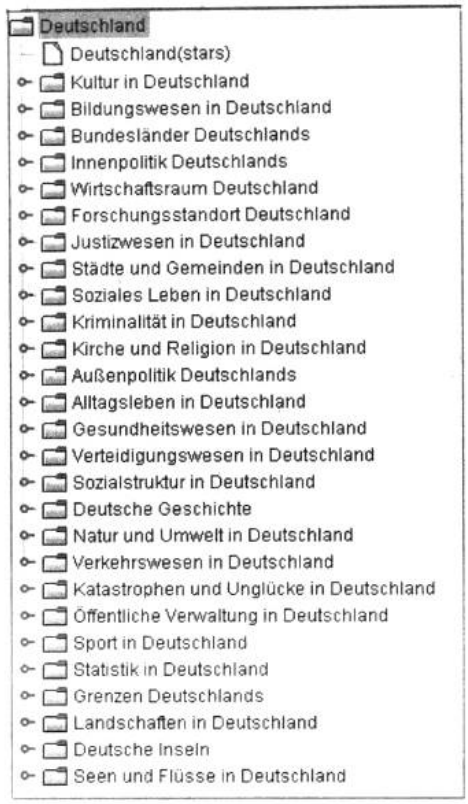
图6-41 层次结构中的相邻两层次中集合的关系编码，以及低层次上各集合（A、B、C等）及其中心（C1、C2、C3）

222
~
227

有很多计算文件相似度和决定边界的算法。在本案例分析中，我们主要想提醒读者这样的算法将在很大程度上影响可视化工具的质量。对算法细节感兴趣的读者可以阅读主要参考文献。

6.5.7 评估

研究者将InfoSky和传统的树形视图进行了比较。图6-42显示了该树形图的最高层次。



228

图6-42 传统树形视图的最高层

8名参与者被随机分为2组，每组人员被要求分别利用InfoSky工具（望远镜浏览器TS）和树形视图（TV）来完成相同的2组各5个任务。不允许同时使用两个系统，也不允许使用查询功能。在每组人员中，2名先使用TS然后使用TV，另外2名反之。两组任务集尽量保持一致，以保证解决方案实现在层次结构的同一层上，并且每层上的选项数目一致。每组任务的执行顺序在参与者和工具之间平均分布。实验开始前先对TS系统做一个2分钟的简介。参与者的动作由视频记录，任务完成后对参与者做了调查。实验中记录下了找到每个任务解决方案所耗时长。

在所有80个解决方案（8个参与者，2组各5个任务）中，对40组完成时间的比对发现，TS只在其中8组中比较快速。平均来看，TV比TS明显快得多（$p<0.05$），TS比TV要慢36～186秒。

研究者分析了造成TS慢速的两个主要原因。首先，参与者已经使用树形视图很长时间了，对树形视图的隐喻和控制方式已经非常熟悉。研究者指出，“TS‘两分钟’的训练并不足以弥补这个鸿沟”。其次，TS尚处于初级研发阶段，很多的程序缺陷，例如很小的多边形和“跳动的标题”，都影响着它的可用性。

我们不应该仅根据评估结果就否定银河和望远镜隐喻的价值。第一，评估的只是一个系统原型。第二，该系统涉及用户不熟悉的控制方式和隐喻。第三，任务没有测试使用TS找到相似或相关的文件或子集的功能。第四，没有向参与者提供查询功能。第五，不允许同时使用两

个系统。鉴于以上这些限制，评估结果算不上是消极的，银河+望远镜的隐喻能够最终成为支持大型层次文档库的浏览和查询的好方法。近期反馈积极的实验可以参考Granitzer等和Kappe等的参考文献（见6.5.9节）。

6.5.8 主要参考文献

Andrews, K., Kienreich, W., Sabol, V., Becker, J., Droschl, G., Kappe, F., Granitzer, M., Auer, P. and Tochtermann, K. (2002) 'The InfoSky visual explorer: exploiting hierarchical structure and document similarity', *Information Visualization*, 1, 3/4, pp. 166–181.

6.5.9 其他参考文献

Chalmers, M. (1993) 'Using a landscape metaphor to represent a corpus of documents', in 'Spatial information theory – a theoretical basis for GIS', Proceedings of the European Conference COSIT '93, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, pp. 377–388.

Granitzer, M., Kienreich, W., Sabol, V., Andrews, K. and Klieber, W. (2004) 'Evaluating a system for interactive exploration of large, hierarchically structured document repositories', IEEE, Proceedings InfoVis 2004, pp. 127–133.

Kappe, F., Droschl, G., Kienreich, W., Sabol, V., Becker, J., Andrews, K., Granitzer, M., Tochtermann, K. and Auer, P. (2003) 'InfoSky: visual exploration of large hierarchical document repositories', Lawrence Erlbaum Associates, Proceedings HCI International 2003, pp. 1268–1272.

Lamping, J. and Rao, R. (1994) 'Laying out and visualising large trees using a hyperbolic space', ACM, Proceedings UIST '94, pp. 13–14.

Robertson, G.G., Mackinlay, J.D. and Card, S.K. (1991) 'Cone trees: animated 3D visualizations of hierarchical information', ACM, Proceedings CHI '91, pp. 189–194.

Wise, J.A., Thoma, J.J., Pennock, K., Lantrip, D., Pottier, M., Schur, A. and Crow, V. (1995) 'Visualising the non-visual: spatial analysis and interaction with information from text documents', IEEE, Proceedings InfoVis '95, pp. 51–58.

229

230

习题

建议通过课堂讨论的形式来加深对以下习题的理解。

以下每个设计习题都会花费每个小组（由3～4名成员组成）5个完整的工作日。其目的不在于测试编程能力，而是考虑（定义相对松散的）任务，决定用户和任务的本质，识别设计因素，做出主要设计决策，然后对其进行描述。这个过程将涉及连续的创造性设计和评估。我们鼓励使用头脑风暴（brain-storming）和中间（手绘）草图（最好像在真实的设计所里一样保持设计的连贯性）。设计中期（大概两三天后）要求进行进度汇报。最终成果要求总结为不超过4页的ACM会议格式的报告，报告中不允许出现附录、图片或印刷品。这些习题强调信息可视化技术的使用，但也允许使用其他技术。

6.1 **花卉展示。**一个拥有数个花艺中心的公司在考虑是否要让顾客通过大型触摸屏来查看该公司推出的花卉产品。大多数顾客对植物、灌木以及它们的最佳生长环境了解不多。该公司希望看到一个或多个这样的界面设计方案。

6.2 **有哪些有趣的服务？**为PDA用户设计一个显示用户当前位置范围内的本地服务的方

法。假设PDA上有GPS设备或欧洲卫星导航系统。

231 6.3 **火车旅行。**选择一个大型火车站，为其设计一个支持旅行信息快速查询的纸质海报。

6.4 **找到那张照片。**很多人拥有大量的照片，除日期外，很少有人对照片进行其他标准的分类。要想找到一张照片给朋友看是件困难的事。设计一个支持这种查询的界面，显示设备可以是手机、PDA或标准显示器。假设所有照片可以按日期和地点（通过GPS）自动分类。设计中应该考虑诸如“那是去年夏天在意大利……”的活动。

6.5 **期刊查询。**对于生物学方面的一个研究课题，可能有很多和某个或多个关键字相关的学术论文。可以根据相关性在查询条件中加入或删除这些关键字。设计一个支持该项查询功能的界面。

6.6 **本科学习。**即将进入大学学习的学生通常要访问过很多网站后才能决定想要申请的学校名单。为该类学生设计一个网站。

6.7 **公交车旅行。**在伦敦等大城市中，公交车是一种便利的交通方式。回答“该乘哪路车”特别是“该转乘哪路车”等问题很难。为你所选的城市（伦敦、纽约、巴黎均可）设计一张公交车地图，要求它能帮助人们找到合适的路线。最好用一个小的虚拟城市来测试你的初始想法，然后研究如何对其进行扩展。

6.8 **在线购物。**一家家具店（卖桌子、椅子、窗、书柜、地毯和灯饰等物品）需要一个支持在线购物的网站。为该网站设计界面。

6.9 **手机上的网页。**网页的尺寸相对于手机显示屏而言是很大的。但手机一般没有提供触
232 控笔等直接交互设备。设计一个能够通过手机或PDA舒适地进行网页浏览的系统。

6.10 **查看电子邮件记录。**很多电子邮件用户都保存有长期以来的邮件收发记录。首先列出（大约10个）用户对该记录可能的使用任务和可能提出的问题。然后，为该记录设计一个交互式编码方案，要求支持所有前面提到的以及设计过程中出现的任务和问题。

233 6.11 **儿童手机。**考虑为年龄在3～5岁的儿童提供手机的优势和劣势，并提供相应的设计。

缩写说明：
Dict=字典定义
IV=在信息可视化领域内的定义

attribute（属性）
Dict：一个人或事物所具有的某个特性或特点。

attribute visibility, dimension visibility（属性可见性，维度可见性）
IV：使对象在每个属性维度上的属性值分布清晰可见的数据描述。

breadcrumb trail（历史信息跟踪）
IV：对离散信息空间内已遍历路径的描述（经常松散地表示为可遍历路径）。

browse（浏览）
Dict：[www.etymonline.com]仔细观察。
IV：对内容及导航线索的（通常是视觉的）感知、解释和评估的活动。
在对静态显示和序列显示的仔细观察中经常有眼球活动。
根据意图可将浏览分为：随机式的（内容是未知的）、探察式的（构建空间的心理模型的视图）及无意式的（非直接的）。

brushing（扫光）
IV：与某个对象的交互导致另一些对象编码的实时变化。

conceptual short-term memory（概念型短期记忆）
IV：在最长一秒的时间内对刺激做出反应的人类感觉系统模型。

derived value（推导数值）
IV：从已有值中推导出的一个或多个值。
示例：平均值、方差。

detail（细节）
IV：集合中某个对象的一系列属性信息。

dynamic query（动态查询）
IV：对一个或多个数据值的连续手动调整引起对应函数值的视觉描述的（例如在一秒之内）实时变化的界面。

exploration（探察）
IV：为部分或整个信息空间建立心理模型而采取的定位和浏览活动。

fixation（凝视）
Dict：眼球活动停留在某个固定点。

glyph（字形）
IV：为传递多个数据值而设计的图形对象（Ware, 2004, p.145）。

insight（信息启示）

IV：对数据的内部模型的增强（涉及对内部模型的增加和删除）；理解。

navigation（定位）

235 IV：在离散或连续信息空间内的离散移动。

object visibility（对象可见性）

IV：为使对象属性清晰可见而将对象视为独立统一的视觉单位的对象描述。

overview（总图）

IV：对对象集合的一个或多个属性的评估。关注元数据或范围的知识获取。评估通常是迅速和下意识的。它既可以是有意识的，也可以是无意识的（下意识的）。

pre-attentive processing（下意识处理）

IV：出现在有意识注意之前的感知和认知处理。

presentation（表示）

Dict：提供视图；显示。

IV：对已编码数据及其显示布局的选择。

pursuit（追踪）

IV：为增强朝向某个目标的移动所采取的定位行动。

relation（关系）

Dict：两个或多个事物间的逻辑或自然联系；互相之间的相关性；联系。

represent（描述）

Dict：描述，描绘。

Dict：清晰地呈现在心中。

IV：对数据的视觉、声觉或其他感知形式的编码。

residue（残留物）

IV：对SM编码中远端内容的显示。

saccade（扫视）

Dict：眼球的弹道运动。

scent（气味）

236 IV：在对一个或多个线索解释的基础上感知到的信息空间中某移动的益处。

search（查找）

Dict：为了找到某事物而做的检查。

查找是定向的且具有某个特定的目标。在信息学领域该术语通常意味着机器自动运行的查找。如果查找由人来执行，则可能涉及一种或多种浏览和定位活动。

sensitivity（敏感度）

IV：离散信息空间中的活动以及实施活动所需的交互。

suppression（抑制）

IV：根据某些自动或手动选择的条件，去除数据描述中的某些视图。

tree（树）

IV：由结点和连接组成的不含环的网络。

visualization tool（可视化工具）

IV：软件系统，通常包含允许用户交互、改变某些数据视图以及形成数据的心理模型的视觉显示。

visualize（可视化）

IV：对某事物建立心理模型。

wayfinding（寻路）

IV：探索和仔细观察的结合。 237

关于视频

Information Visualization: Design for Interaction, 2E

简短的视频（例如小于5分钟）和视频剪辑（10～30秒）可以为信息可视化教学提供很有效的帮助。

以下列出了随书附赠的DVD上的所有37个免费的视频和视频剪辑。对于每段视频，我们列出了其在本书中的对应章节并提供了有关的期刊参考文献，随后给出了它的格式、大小、时长、背景信息、主要内容以及所呈现的概念。

V1 定性描述

V2 对关系的动态探索

V3 声音编码：脑瘤

V4 2020年的可视化

V5 属性浏览器

V6属性浏览器：一段演示视频

V7 Infocanvas

V8 交互式韦恩图

V9 锥形树

V10 基金浏览器

V11 双焦显示1

V12双焦显示2

V13 手机上的翻转缩放

V14 PDA上的变形地图

V15 可折桌面显示技术

V16 橡皮地图变形

V17 透视墙

V18 Sunburst

V19缩放和平移的结合

V20 悬浮RSVP

V21 图片浏览-视频可索求

V22 小显示区域内的定位

V23～V28 图片表示模式

V29 咖啡桌上的随机式浏览

V30 基于动态描述的发现

V31影响力浏览器

V32 Model Maker

V33 自动设计的人为指导

V34 剖析矩阵

V35 Dust and Magnet

V36 RSVP浏览器

V37 InfoSky视觉浏览器

V1定性描述

第3章第1节

Spence, R. and Drew, A. (1971) 'Graphical exploration in electrical circuit design and modelling', NRC, Ottawa, Proceedings 2nd Man-Computer Communications Seminar, pp. 61-70.

QuickTime Movie，14.9MB，60秒（开始无声，然后声音响起）

背景

MINNIE是一个交互图式的计算机辅助设计系统，主要用于数字电路辅助设计，1968年开发成功，1985年成为商业产品。该视频大约创建于1973年。

动作

圆的大小表示对应部件属性的改变对数字电路（本例中指它的放大率）的某些属性的影响。 239
图形中显示的频率变化在bass到treble之间的频率。通过动画显示了频率从bass变到treble过程中圆的大小变化。

呈现

为特别是定性的重要启示采用了面积编码，利用动画来处理额外的维度（在本例中指频率）。

注意

设计者发现，当电路性能不优时，这样的敏感度信息对决定修改哪个部件的值尤其有用。由于设计师对每个部件的效用通常可能有一些预设想法，这些先验值和实际值的差异（例如预期的是小圆圈，而实际得到的是大圆圈）可以起到良好的教育作用。

V2 对关系的动态探索

第1章

Spence, R. and Apperley, M.D. (1974) 'On the use of interactive graphics in circuit design', IEEE, Proceedings of the International Symposium on Circuits and Systems, pp. 558-563.

QuickTime Movie，3.5MB，38秒（无声）

背景

在工程设计领域，在产品的某个参数值必须选定的情况下，如果设计师可以探索产品的某些属性间的关系，这将为设计带来很多益处。如果允许设计师手动修改参数值并立即看到参数值的修改对产品性能的影响，将增强设计师对关系的心理模型。

动作

本视频从支持数字电路设计的MINNIE CAD系统的影片转换而来，显示了一位数字电路设计师通过连续改变某个部件值来交互式地探索部件属性和电路整体性能之间的关系。

呈现

即时反映；动态查询。 240

V3声音编码：脑瘤

感谢MIT(Lowell，USA)的可视化和感知研究中心。

第3章第1节

QuickTime Movie，15.8MB，1分14秒

背景

“可视化”一词通常被错误地理解为仅利用视觉图片进行数据描述。虽然视觉描述很常见，但也可以使用数据的声学编码。

动作

该视频展示了在脑部扫描结果的探索中声学编码的使用。当鼠标在头骨和肿瘤这两个不同的脑部区域移动时，完全不同的声音代表了不同的信息。

呈现

数据的声学编码。

V4 2020年的可视化

第3章第1节

Spence, R. (1995) ‘Visions of design’, *Journal of Engineering Design*, 6, 2, pp. 125-137.

QuickTime Movie，9.88MB，45秒

背景

在1995年，12位优秀的工程设计者被问到工程设计在25年后也就是2020年的发展状况。视频显示的是优秀的工程设计师在2020年的一场晚宴中对他们设计工作的描述。最典型的想
241 法是利用大型显示屏、协作工作和声音编码来实现数据可视化。

动作

三位工程设计师在工程设计中同数据的视觉和声觉编码进行交互。

呈现

协作工作；数据的视觉和声觉编码。

V5 属性浏览器

第3章第1节

Spence, R. and Tweedie, L. (1998) ‘The Attribute Explorer: information synthesis via exploration’, *Interacting with Computers*, 11, pp. 137-146.

QuickTime Movie，36.8MB，3分32秒

背景

很多时候用户需要根据多个属性值从很多对象中选择一个对象。典型的例子有购买住房、汽车、手机等。

动作

对于所有对象，每个属性都表示为一个直方图，可以通过选择属性范围来设置限制条件，从而选择落在该限制范围内的对象。当探索多个属性时，为直方图之间建立联系，从而使得属性选择可以反映在其他直方图上。通过交互设置属性限制条件，用户可以建立数据的心理模型，

逐渐将被选项圈定于一个或较少几个对象中，然后可以对它们做进一步的细节探察。

呈现

直接控制的动态查询；颜色编码的敏感度信息（特别在没有符合条件的对象时）对用户的指导；用户对数据不熟悉，所以通常通过探索来建立心理模型，然后才能确定值得进一步探察的对象。 242

V6属性浏览器：一段演示视频

第3章第1节

Spence, R. and Tweedie, L. (1998) 'The Attribute Explorer: information synthesis via exploration', *Interacting with Computers*, 11, pp.137-146.

QuickTime Movie，72.2MB，1分35秒（无声）

背景

很多时候用户需要根据多个属性值从很多对象中选择一个对象。典型的例子有购买住房、汽车、手机等。

动作

该（无声）视频展示了属性浏览器的重要特点。

呈现

属性浏览器的重要特点；颜色编码的敏感度信息。

V7 Infocanvas

感谢John Stasko。

第3章第1节

Miller, T. and Stasko, J. (2001) 'Information conveyance through personalised, expressive art', ACM, Proceedings CHI'01, pp. 305-306.

MPEG Movie，70.8MB，6分37秒

背景

很多用户希望通过简单一瞥就能得到信息，如交通状况、天气、股票、突发新闻等。

动作

不同于传统的显示器，本视频提供的解决方法是利用悬挂式显示屏来艺术化地显示用户感兴趣信息。 243

呈现

对经常出现但很少访问的数据进行艺术化编码。

V8 交互式韦恩图

感谢Ron Bird和Ken Chahhawata。

第3章第2节

QuickTime Movie，15.1MB，58秒（无声）

背景

韦恩图不一定是静态的：交互式的韦恩图允许用户灵活地对数据进行查看，因此可能带来

更多的益处。

动作

本视频展示了金融领域中一个允许和表示数据描述的韦恩图的灵活交互的系统。

呈现

韦恩图；通过动画草图向客户介绍初始设计方案。

V9 锥形树

感谢Stu Card。

第3章第2节、第5章第6节

Robertson, G.G., Mackinlay, J.D. and Card, S.K. (1991) 'Cone trees: animated 3D visualizations of hierarchical information', ACM, Proceedings CHI '95, pp. 189-194.

244 QuickTime Movie，10.5MB，1分5秒

背景

用树来描述层次结构的数据有个缺点：当树的规模很大时，很难在传统显示器上显示整棵树。锥形树是一种解决方法。将某个结点的所有从属结点都放在它下方的一个圆中，从属结点和该结点间的连线形成一个锥形。这样一个三维布局的二维视图叫做锥形树。

动作

当需要查询树中的某个结点时，所有和该结点相关的锥形被放置到视图前部。当选中另一个结点时，新视图并不是立即出现，而是通过持续一秒的动画来实现不同视图间的平滑转换，从而帮助用户维持对该树的心理模型。

呈现

层次结构的数据描述方法；利用动画帮助在视图转换中维持心理模型。

V10 基金浏览器

感谢John Stasko。

第3章第2节

Csallner, C., Handte, M., Lehmann, O. and Stasko, J. (2003) 'FundExplorer: supporting the diversification of mutual fund portfolios using context treemaps', IEEE, Proceedings of Information Visualization 2003, pp. 203-208.

MPEG Movie，87.8MB，3分57秒

背景

股份共同基金是股票的一种投资方法。考虑到两个不同的基金可能投资同样的股票，所以经常会出现重叠。

动作

本视频展示了建立在变形树图基础上的基金浏览器，该系统允许用户探索投资额、股票的
245 上下文信息，以及投资组合的多样性。

呈现

树图；交互式探索；上下文。

V11 双焦显示1

第4章第1节

Spence, R. and Apperley, M.D. (1982) 'Data base navigation: an office environment for the professional', *Bechaviour and Information Technology*, 1, 1, pp. 43-54.

QuickTime Movie，2.78MB，13秒

背景

发明于1980年的双焦显示可能是应用变形技术为数字信息空间提供焦点+上下文视图的第一个实例。用户可以在聚焦于（例如阅读）一个或两个文件的同时看到整个信息空间的全貌。

动作

本视频（摄于1980年）展示了如何利用滚动将感兴趣对象从变形区域带入焦点区域。

呈现

焦点+上下文；变形；从变形区域到焦点区域的平滑切换。

V12双焦显示2

第4章第1节

Spence, R. and Apperley, M.D. (1982)（见V11双焦显示1）

QuickTime Movie，12.2MB，60秒

背景

见V11（双焦显示1）。

动作

该视频显示了画在纸上的双焦显示的信息空间。 246

呈现

见V11（双焦显示1）。

V13 手机上的翻转缩放

感谢Ron Bird。

第4章第1节

Holmquist, L. E. (1997) 'Focus + Context visualization with flip-zooming and zoom browser', Exhibit, CHI '97.

QuickTime Movie，11.7MB，1分57秒（无声）

背景

对于焦点+上下文问题有很多不同的解决方法，其中很多都使用了变形。翻转缩放技术最有趣的特点是对*X*和*Y*方向均做了同样的变形，使“变形”区域内的对象成为可识别的缩略图，当对象是未变形的小图片时，这样的方法尤其有效。

动作

本视频剪辑展示了一位交互设计师为手机制造商提供的产品设计动画草图。它为手机用户提供了一种图片浏览方式，该方法已被制造商采用。

呈现

翻转缩放技术，图片库的表示；在交互设计的“提案”阶段运用动画草图。

V14 PDA上的变形地图

感谢IDELIX软件有限公司的David Baar。

第4章第1节

参考文献和V11（双焦显示1）相同。

247 AVI，2.1MB，52秒（无声）

背景

结合抑制技术的双焦显示技术体现了焦点+上下文的概念。IDELIX已将该方法应用于PDA上波士顿地图的显示。

动作

用户将一个方框在波士顿（交通）地图上移动，视频显示了特定部分如何被放大同时被填入合适的数据。该视频显示了保持普通区域和变形区域之间的连续性的良好效果这一变形技术的重要特点。

呈现

变形；连续性；抑制。

V15 可折桌面显示技术

感谢Chia Shen。

第4章第1节

参考文献和V11（双焦显示1）相同。V14和V16为相关视频。

QuickTime Movie，15.9MB，3分1秒

背景

见V11（双焦显示1）。

动作

该视频显示了变形技术和交互式桌面的有效结合。桌面上方的投影仪在桌面上投射出地图。用户把手指放到桌面上，可以通过橡皮变形来实现地图的变形。

呈现

248 变形；焦点+上下文；交互；协作。

V16 橡皮地图变形

感谢IDELIX软件有限公司的David Baar。

第4章第1节

参考文献和V11（双焦显示1）相同。

QuickTime Movie，5MB，33秒（无声）

背景

结合抑制技术的双焦显示技术体现了焦点+上下文的概念。IDELIX已将该方法应用于传统地图的浏览。将一个放大区域移动到地图中的感兴趣区域，地图对应部分得到放大，同时利用

变形保持上下文。

动作

一个放大区域在传统地图上移动，同时保持完整的上下文信息和连续性。当发现感兴趣区域后，该区域周围的区域立即按常规显示。

呈现

变形；连续性；抑制。

V17 透视墙

第4章第1节

Mackinlay, J. D., Robertson, G.G. and Card, S.K. (1991) 'Perspective Wall: detail and context smoothly integrated', ACM, Proceedings CHI '91, pp. 173-179.

QuickTime，11.3MB，54秒

背景

见V11（双焦显示1）。

动作

该视频展示了透视墙的三维特点、各种变形方法、编码，以及将感兴趣对象显示在中心区域的动作。 249

呈现

信息空间的变形。

V18 Sunburst

感谢John Stasko。

第4章第1节

Stasko, J. and Zhang, E. (2000) 'Focus+context display and navigation techniques for enhancing radial, space-filling hierarchy visualizations', IEEE, Proceedings of Information Visualization 2000, pp. 57-65.

MPEG movie，37.9MB，3分53秒

背景

层次数据的放射状描述有个很大的问题：当层次增多时，外围很多对象将变成难以识别的小切片。

动作

该视频展示了灵活浏览放射状描述的三种方法：允许对小对象的细节查看，同时显示整个层次的上下文信息。

呈现

层次数据描述；焦点+上下文技术。

V19缩放和平移的结合

感谢Andy Cockburn。

第4章第1节

Cockburn, A. and Savage, J. (2003) 'Comparing speed-dependent automatic zooming with traditional scroll, pan and zoom methods', in *People & Computers XVII*, pp. 87-102.

250 MPEG movie，30.8MB，3分5秒（无声）

背景

透过电影院和电视等应用，缩放和平移已经成为众所周知的技术。两者的结合，特别当根据平移动作的本质实现自动缩放可以带来很多的好处。

动作

该短片展示了平移过程中的两种自动缩放技术：基于速度的缩放和基于置换的缩放。

呈现

平移过程中的自动缩放。

V20 悬浮RSVP

感谢Kent Wittenburg。

第4章第2节

Wittenburg, K., Chiyoda, C., Heinrichs, M. and Lanning, T. (2000) 'Browsing through rapid-fire imaging: requirements and industry initiatives', SPIE, Proceedings of Electronic Imaging, pp. 48-56.

MPEG movie，6.1MB，30秒（无声）

背景

快速序列视觉表示（RSVP）实现对图片库的快速顺序表示证实用户只需要100毫秒的查看时间就能识别出目标图片。

动作

用户浏览基于悬浮RSVP显示技术的商品。手动控制允许用户控制对所有对象的前后翻动，以及发现感兴趣对象时停止显示。

呈现

251 图片的悬浮RSVP表示；当用户目标没有精确定义时，快速查看可以带来好处。

V21 图片浏览–视频可索求

第4章第2节

Lam, K. and Spence, R. (1997) 'Image browsing - a space-time trade-off', Proceedings INTERACT '97, pp. 611-612.

Quicktime Movie，21.4MB，1分55秒

背景

快速翻动书本是最常见也最有效的快速了解书本大致内容的方法。数字翻动是支持信息空间浏览的有效方法，该方法称为快速序列视觉表示（RSVP）。

动作

该视频展示了RSVP如何支持浏览活动以及如何在空间和时间之间取得平衡，当使用手机或PDA等空间受限设备时，这种平衡显得尤为重要。

呈现

RSVP；浏览活动；RSVP固有的空间–时间平衡；基于RSVP的视频点播系统。

V22 小显示区域内的定位

第4章第2节

de Bruijn, O. and Spence, R. (2001) 'Movement in the web', extended abstracts, CHI 2001 Companion Proceedings, pp. 209-210.

Quicktime Movie，34.1MB，2分22秒

背景

在手机或PDA等小显示屏设备上实现庞大信息空间内定位的需求日趋增长。 252

动作

一种解决方法是利用快速序列视觉表示（RSVP）技术所提供的空间–时间平衡。RSVP既可以用于查看外部链接（如在图片上的超链接），也可以用于查看“足迹”，即信息空间中已访问过的图片。

呈现

RSVP；空间–时间平衡；定位。

V23～V28 图片表示模式

第4章第2节

Cooper, K., de Bruijn, O., Witkowski, M. and Spence, R. (2006) 'A comparison of static and moving image presentation modes for image collections', ACM, Proceedings AVI 2006, pp. 381-388.

AVI movie，每个视频大约5MB，时长3～4秒（无声）

背景

涉及快速顺序图片表示的快速序列视觉表示（RSVP）有很多不同的模式。这些视频展示了包括堆模式（同时显示所有图片）在内的一些显示模式。

动作

一组很短的6段视频剪辑展示了图片库表示模式（3种“静态”模式，3种“动态”模式）：

- V23 幻灯片
- V24 堆
- V25 混合型
- V26 对角线
- V27 环形
- V28 流

呈现

基于快速序列视觉表示（RSVP）的图片表示技术。 253

V29 咖啡桌上的随机式浏览

第5章

Stathis, K., de Bruijn, O. and Macedo, S. (2002) 'Living memory: agent-based information

management for econnected local communities', *Interacing with Computers*, 14, 6, pp. 663-688.

QuickTime Movie，13.6MB，1分3秒

背景

随机式浏览（OB）是一种重要的交互模式。在OB模式中，用户并未意识到他们对眼球暂时聚焦的图片做了分类和识别以判断是否和自己的兴趣相关。

动作

本视频展示了人们围坐在咖啡桌旁聊天，桌面上显示了新闻图片的投影，图片在桌面上缓慢移动，并最终被新图片替换。当人们注意到一条感兴趣的新闻时，可以用手指将对应图片“推动”到桌面中央位置，图片尺寸增大，从而提供更多细节信息。

呈现

随机式及无意式浏览。

V30 基于动态描述的发现

第5章第2节

Spence, R. and Drew, A. (1971) 'Graphical exploration in electrical circuit design and modelling', NRC, Ottawa, Proceedings 2nd Man-Computer Communications Seminar, pp. 61-70. (as for V1 Qualitative Representation)

QuickTime Movie，4.77MB，18秒

背景

见V1定性描述。

动作

254 见V1定性描述。

呈现

展示了意料之外的发现如何出现在可视化工具中。两个突然剧烈放大和缩小的圆表示电路中出现了（通常）不该出现的效果（共振，和Tacoma Narrows大桥的毁灭性共振类似）。随后对频率显示器的调节展示了共振发生时的频率。

V31 影响力浏览器

第5章第2节、第5章第5节

Tweedie, L., Spence, R., Dawkes, H. and Su, H. (1996) 'Externalising abstract mathematical models', ACM, Proceedings CHI '96, pp. 406-412.

Quicktime Movie，47.8MB，4分53秒

背景

工程设计师要为多个参数选择合适的值以保证系统性能在设定范围内。影响力浏览器中应用了很多的设计（例如，参数值的选择“覆盖”了参数空间的很大范围），并对相应的性能做了计算。影响力浏览器可视化工具允许像属性浏览器一样对预设值进行查看。

动作

本视频展示了台灯灯丝的一个4英寸长的结构。4个参数代表了该结构的不同维度，有4个性能参数，分别代表在结构的不同点的压力（Su *et al.*，1996）。

呈现

探索发现性能参数间的平衡，以及参数和性能间的相关性；将性能限制条件转换为满意设计在参数空间内的位置；为参数选择合理范围并保证高性能。 255

V32 Model Maker

第5章第3节

Smith, A.J., Malik, Z., Nelder, J. and Spence, R. (2001) 'A visual interface for model fitting,' *Quality and Reliability Engineering International*, 17, pp. 85-91.

Quicktime Movie，47.5MB，4分51秒

背景

在科学研究、工程设计和数据挖掘中经常需要为测量或模拟数据找到一个适合的数学关系。对于不熟悉统计学的用户来说这是一项困难的任务。Model Maker“隐藏”了理论和算法并合理利用了用户的专业知识。

动作

数学模型（例如多项式）的每项被描述为一个方块。方块内的圆的大小代表该项对数据良好拟合的重要性。黑色圆说明模型中已引入该项，白色圆说明该项尚未引入模型。

呈现

面积编码（项在模型中的值）；颜色编码（表示项是否已在模型内）；直接操控（点击方块）决定是否将项加入模型或从模型中删除。

注意

本界面展示了所有可能的独立变化对已有模型的影响，显著减少了找到模型所需的统计知识。

V33 自动设计的人为指导

第5章第4节

Colgan, L., Spence, R. and Rankin, P.R. (1995) 'The cockpit metaphor', *Behaviour and Information Technology*, 14, 4, pp. 251-263.

QuickTime Movie，79MB，5分40秒 256

背景

数字电路设计中的“优化算法”自动反复地修改电路的部件值以期取得较好的电路性能。但是，这样的“自动设计”存在着很多缺陷：例如，设计师无从知道最终电路是如何得来的（例如，有没有遇到任何的平衡操作？如果某个参数限制条件逐步降低，会不会显著提高电路性能？），因此很难定义“较好性能”标准。

如果优化过程是可控的或可以根据设计师的专业知识进行修改，则优化算法能得到更有效的应用。结合优化算法和设计师的界面叫做cockpit。

动作

在介绍了该题目和很多设计领域的相关性后，该视频展示了如何提高芯片电路设计性能。

呈现

自动设计的人为指导；面积和颜色编码；实际可视化工具的复杂度。

V34 剖析矩阵

第5章第5节

Tweedie, L. and Spence, R. (1998) 'The prosection matrix: a tool to support the interactive exploration of statistical models and data', *Computational Statistics*, 13, pp. 65-76.

QuickTime Movie，28.6MB，2分52秒

背景

和影响力浏览器类似，但现在通过一个剖析矩阵对预设数据进行检查。一个剖析对应一组参数，通过颜色编码显示在该二维空间内符合其他参数限制条件的满意设计的位置。该空间内的黄色矩形代表在两个参数值允许范围内的所有设计。要想取得高生产效率，黄色矩形应该尽
257 量包含在红色（可接受的）区域内。

动作

该视频对剖析矩阵做了总结和展示。

呈现

通过替换为简单的感知任务将困难的认知问题进行简化。

V35 Dust and Magnet

感谢John Stasko。

第6章第2节

Yi, J.S., Melton, R., Stasko, J. and Jacko, J.A. (2005) 'Dust and magnet: multivariate information visualization using a magnet metaphor', *Information Visualization*, 4, 4, pp. 239-256.

Quicktime Movie，46.6MB，4分46秒

背景

很难用普通大众可以理解的方式来描述高维数据。dust and magnet这一可视化技术使用了“magnet”的隐喻和适当的交互技术，使得用户可以根据对象的属性值灵活地探查可能的备选项。

动作

该视频展示了dust and magnet界面的很多用法，包括用户实际使用的意料之外的策略。

呈现

258 多维交互描述技术；用户在数据探索过程中形成问题的行为。

V36 RSVP浏览器

第4章第2节、第6章第3节

DeBruijn, O. and Tong, C-H. (2003) 'M-RSVP: mobile web browsing on a PDA" in O'Neill, E., Palanque, P. and Johnson, P. (eds) *People and Computers-Designing for Society*, Springer, pp. 297-311.

相关视频见V22（小显示区域内的定位）。

QuickTime Movie，2MB，6秒（无声）

背景

在小屏幕设备如手机和PDA上做大量信息（如网页）定位的需求日趋高涨。

动作

该视频展示了如何利用快速序列视觉表示（RSVP）在PDA上显示新闻。用户可以看到一系列“预览”，每个预览由图片和几个相关词组组成，因此新闻对象的选择是实时、无延迟的。

呈现

RSVP；空间-时间平衡。

V37 InfoSky视觉浏览器

感谢Keith Andrews。

第6章第5节

Andrews, K., Kienreich, W., Sabol, V., Becker, J., Droschl, G., Kappe, F., Granitzer, M., Auer, P. and Tochtermann, K. (2002) 'The InfoSky visual explorer: exploiting hierarchical structure and document similarity', *Information Visualization*, 1, 3/4, pp. 166-181.

相关视频见V22(小显示区域内的定位)

AVI Movie，25.2MB，2分34秒

背景

对大型层次数据库（如大型新闻库）的结构和内容进行可视化是个很具挑战性的课题。 259

动作

该视频展示利用InfoSky视觉浏览器对含有100 000篇新闻文章的层次数据库进行探索和查找。该系统使用了“银河和望远镜”的隐喻。文章在空间内的位置反映了它们之间的相似度，这也从另一方面增强了探索和查找功能。

呈现

银河和望远镜的隐喻；语义缩放；根据相似度对对象做算法定位。 260

Ahlberg, C. (1996) 'Dynamic Queries', PhD dissertation, Chalmers University of Technology, Sweden.

Ahlberg, C. and Shneiderman, B. (1994) 'Visual information seeking: tight coupling of dynamic query filters with starfield displays', ACM, Proceedings CHI '94, pp. 313–317.

Ahlberg, C., Williamson, C. and Shneiderman, B. (1992) 'Dynamic queries for information exploration: an implementation and evaluation', ACM, Proceedings CHI '92, pp. 619–626.

Albinsson, P-A., Morin, M. and Fransson, J. (2003) 'Finding Information Needs in Military Command and Control Systems using Exploratory Tools for Communication Analysis', Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society, pp. 1918–1922.

Andrienko, G. and Andrienko, N. (2003) 'Informed spatial decisions through coordinated views', *Information Visualization*, 2, 4, pp. 270–285.

Apperley, M.D., Tzavaras, I. and Spence, R. (1982) 'A bifocal display technique for data presentation', Proceedings Eurographics, pp. 27–43.

Arnold, C.J. (1997) *An Archaeology of the Early Anglo-Saxon Kingdoms*, London, Routledge, p. 216.

Baudisch, P. and Rosenholtz, R. (2003) 'Halo: a technique for visualizing off-screen locations', ACM, Proceedings CHI '03, pp. 481–488.

Becker, R.A. and Cleveland, W.S. (1987) 'Brushing scatterplots', *Technometrics*, 29, 2, pp. 127–142.

Bederson, B.B., Clamage, A., Czerwinski, M.P. and Robertson, G.G. (2003) 'A fisheye calendar interface for PDAs: providing overviews in small displays', Proceedings of Extended Abstracts of Human Factors in Computing Systems (CHI 2003), ACM Press, Demonstration, pp. 618–619.

Bederson, B.B., Clamage, A., Czerwinski, M.P. and Robertson, G.G. (2004) 'DateLens: a fisheye calendar interface for PDAs', ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 11, 1, pp. 90–119.

Bendix, F., Kosara, R. and Hauser, H. (2005) 'Parallel sets: visual analysis of categorical data', IEEE, Proceedings Information Visualization '05, pp. 133–140.

Bertin, J. (1967) *Semiologie graphique*, Paris, Editions Gauthier-Villars.

Bertin, J. (1981) *Graphics and Graphic Information-Processing*, Berlin, Walter de Gruyter: a translation of *La Graphique et le Traitement Graphique de l'Information*, Paris, Flammarion (1977).

Bertin, J. (1983) *Semiology of Graphics* (translation by W.J. Berg), University of Wisconsin Press.

Bier, E.A., Stone, M.C., Fishkin, K., Buxton, W. and Baudel, T. (1994) 'A taxonomy of see-through tools', ACM, Proceedings CHI '94, pp. 358–364.

Bjork, S., Holmquist, L.E., Redstrom, J., Bretan, I., Danielson, R., Karlgren, J. and Franzen, K. (1999) 'WEST: A web browser for small terminals', ACM, Proceedings UIST '99, pp. 187–196.

Bolt, R.A. (1984) *The Human Interface,* Belmont, CA, Lifetime Learning Publications, p. 2.

Brayton, R.K. and Spence, R. (1980) *Sensitivity and Optimization*, Amsterdam,

Elsevier.
Bryson, B. (1998) *Notes From a Small Island*, London, Black Swan.
Cairns, P. and Craft, B. (2005) 'Beyond guidelines: what can we learn from the visual information seeking mantra?', IEEE, Proceedings Information Visualization IV05, pp. 110–118.
Chernoff, H. (1973) 'The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically', *Journal of the American Statistical Association*, 68, pp. 361–368.
Cherry, E.C. (1953) 'Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears', *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, pp. 975–979.
Chi, E.H., Pirolli, P., Chen, K. and Pitkow, J. (2001) 'Using information scent to model user information needs and actions on the web', ACM, Proceedings CHI '01, pp. 490–497.
Cleveland, W.S. (1993) *Visualizing Data*, Summit, NJ, Hobart Press.
Cleveland, W.S. (1994) *The Elements of Graphing Data* (Revised Edition), Summit, NJ, Hobart Press.
Cleveland, W.S. and McGill, R. (1984) 'Graphical perception: Theory, experimentation and application to the development of graphical methods', *Journal of the American Statistical Association*, 79, 387, pp. 531–554.
Cockburn, A. and Jones, S. (1996) 'Which way now? Analysing and easing inadequacies in WWW navigation', *International Journal of Human–Computer Studies*, 45, 1, pp. 105–129.
Cockburn, A., McKenzie, B. and JasonSmith, M. (2002) 'Pushing back: evaluating a new behaviour for the back and forward buttons in web browsers', *International Journal of Human–Computer Studies*, 57, pp. 397–414.
Cockburn, A., Greenberg, S., Jones, S., McKenzie, B. and Moyle, M. (2003) 'Improving web page revisitation: analysis, design and evaluation', *IT & Society*, 1, 3, pp. 159–183.
Cockburn, A. and Savage, J. (2003) 'Comparing speed-dependent automatic zooming with traditional scroll, pan and zoom methods', *People & Computers* XVII, pp. 87–102.
Cockburn, A., Gutwin, C. and Alexander, J. (2006) 'Faster document navigation with space-filling thumbnails', ACM, Proceedings CHI 2006, pp. 1–10.
Coekin, J.A. (1969) 'A versatile presentation of parameters for rapid recognition of total state', IEE, Proceedings of International Symposium on Man–Machine Interaction, Cambridge, England.
Colgan, L., Spence, R. and Rankin, P.R. (1995) 'The cockpit metaphor', *Behaviour and Information Technology*, 14, 4, pp. 251–263.
Coltheart, V. (1999a) 'Introduction: perceiving and remembering brief visual stimuli', in Coltheart, V. (ed.) *Fleeting Memories: Cognition of Brief Visual Stimuli*, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 1–12.
Coltheart, V. (1999b) *Fleeting Memories: Cognition of Brief Visual Stimuli*, Cambridge, MA, MIT Press.
Cooper, K., de Bruijn, O., Spence, R. and Witkowski, M. (2006) 'Static and moving images', ACM, Proceedings of the Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI 2006), pp. 381–388.
Csallner, C., Handte, M., Lehmann, O. and Stasko, J. (2003) 'FundExplorer: supporting the diversification of mutual fund portfolios using context treemaps', IEEE, Proceedings of Information Visualization 2003, pp. 203–208.
Czerwinski, M.P., van Dantzich, M., Robertson, G. and Hoffman, H. (1999) 'The contribution of thumbnail images, mouse-over text and spatial location memory to web page retrieval in 3D', in Sasse, A. and Johnson, C. (eds)

'Human–Computer Interaction', Proceedings of INTERACT '99, Scotland, IOS Press, pp. 163–170.

Dahlback, N. (1988) 'On spaces and navigation in and out of the computer', in Dahlback, N. (ed.) 'Exploring navigation: towards a framework for design and evaluation of navigation in electronic spaces', SICS technical report T98:01, ISSN: 1100–3154.

Davidson, C. (1993) 'What your database hides away', *New Scientist*, 9 January, pp. 28–31.

Dawson, R.J.McG. (1995) 'The "Unusual Episode" data revisited', *Journal of Statistics Education*, 3, 3 (online).

de Bruijn, O. and Spence, R. (2001) 'Serendipity within a ubiquitous computing environment: a case for opportunistic browsing', in Abowd, G.D., Brumitt, B. and Shafter, S. (eds) UBICOMP 2001: Ubiquitous Computing, Springer, LNCS 2201, pp. 362–369.

de Bruijn, O. and Tong, C.H. (2003) 'M-RSVP: mobile web browsing on a PDA', in O'Neill, E., Palanque, P and Johnson, P. (eds) *People and Computers – Designing for Society*, London, Springer, pp. 297–311.

De Soete, G. (1986) 'A perceptual study of the Flury-Riedwyl faces of graphically displaying multivariate data', *International Journal of Man–Machine Studies*, 25, pp. 549–555.

DiVita, J., Obermayer, R., Nugent, W. and Linville, J.M. (2004) 'Verification of the change blindness phenomenon while managing critical events on a combat information display', *Human Factors*, 46, pp. 205–218.

Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. and Beale, R. (1998) *Human–Computer Interaction*, London, Prentice-Hall.

Dourish, P. and Chalmers, M. (1994) 'Running out of space: models of information navigation', Proceedings HCI '94.

Durlach, P.A. (2004) 'Change blindness and its implications for complex monitoring and control systems design and operator training', *Human-Computer Interaction*, 19, pp. 423–451.

Eick, S.G. (1994) 'Data visualization sliders', ACM, Proceedings UIST '94, pp. 119–120.

Farrand, W.A. (1973) 'Information display in interactive design', Doctoral Thesis, University of California at Los Angeles.

Fawcett, C., Craft, B., de Bruijn, O., Witkowski, M. and Spence, R. (2004) 'Image presentation in space and time: errors, preferences and eye-gaze activity', ACM, Proceedings of the Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI 2004, pp. 141–149.

Feiner, S.K. and Beshers, C. (1990) 'Worlds within worlds: metaphors for exploring n-dimensional virtual worlds', ACM, Proceedings of the Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 76–83.

Field, G.E. and Apperley, M.D. (1990) 'Context and selective retreat in hierarchical menu structures', *Behaviour and Information Technology*, 9, 2, pp. 133–146.

Fluit, C., Sabou, M. and von Harmelen, F. (2003) 'Ontology-based information Visualization', in Geroimenko V. and Chen C. (eds) *Visualizing the Semantic Web*, London, Springer, pp. 36–48.

Fowlkes, E.B. (1969) 'User's manual for a system for interactive probability plotting on Graphic–2', Technical Memorandum, Murray Hill, NJ, Bell Telephone Laboratories.

Freeman, L.C. (2000) 'Visualizing social networks', *Journal of Social Structure*, 1 (online).

Freeman, L.C. (2005) 'Graphical techniques for exploring social network data', in Carrington, P.J., Scott, J. and Wasserman, S. (eds) *Models and Methods in*

Social Network Analysis, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 248–269.

Friendly, M. (1992) 'Mosaic displays for loglinear models', in ASA, Proceedings of the Statistical Graphics Section, pp. 61–68.

Friendly, M. (1994) 'Mosaic displays for multi-way contingency tables', *Journal of the American Statistical Association (Theory and Methods)*, 89, 425, pp. 190–200.

Friendly, M. (2000) *Visualizing Categorical Data*, Cary, NC: SAS Institute Inc.

Friendly http://www.math.yorku.ca/SCS/friendly.html [accessed 19 July 2006]

Furnas, G.W. (1981) 'The FISHEYE view: a new look at structured files', Bell Laboratories Technical Memorandum No. 81-11221-9, 12 October.

Furnas, G.W. (1986) 'Generalized fisheye views: visualizing complex information spaces', ACM, Proceedings CHI '86, pp. 16–23.

Furnas, G.E. and Buja, A. (1994) 'Prosection views: dimensional inference through sections and prosections', *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 3, 4, pp. 323–353.

Furnas, G.W. and Bederson, B.B. (1995) 'Space-scale diagrams: understanding multi-scale interfaces', ACM, Proceedings CHI '95, pp. 234–241.

Furnas, G.W. (1997) 'Effective view navigation', ACM, Proceedings CHI '97, pp. 367–374.

Garland, K. (1994) *Mr Beck's Underground Map: a history*, Harrow Weald, Capital Transport Publishing.

Gibson, J.J. (1977) 'The theory of affordances', in Shaw, R.E. and Bransford, J. (eds) *Perceiving, Acting and Knowing*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.

Goodman, T.G. and Spence, R. (1978) 'The effect of computer system response time on interactive computer-aided problem solving', ACM, Proceedings SIGGRAPH '78.

Grimes, J. (1996) 'On the failure to detect changes in scenes across saccades', in Atkins, K. (ed.), *Vancouver Studies in Cognitive Science: Vol. 2. Perception*, New York, Oxford University Press, pp. 89–110.

Hearst, M.A. (1995) 'TileBars: visualization of term distribution in full text information access', ACM, Proceedings CHI '95, pp. 59–66.

Herot, C.F. (1980) 'Spatial management of data', ACM, Transactions on Database Systems, 5, 4, pp. 493–514.

Herot, C.F., Carling, R., Friedell, M., Kramlich, D. and Rosenberg, R.L. (1981) 'Overview of the spatial data management system', Technical Report CCA-81-08, November, Computer Corporation of America.

Hochheiser, H. and Shneiderman, B. (2004) 'Dynamic query tools for time series data: Timebox widgets for interactive exploration', *Information Visualization*, 3, 1, pp. 1–18.

Holmquist, L.E. (1997) 'Focus+Context visualization with flip-zooming and zoom browser', Exhibit, CHI '97.

Hook, K., Benyon, D. and Munro, A. (2003) *Designing Information Spaces: the social navigation approach*, London, Springer.

i2: www.i2.com [accessed 6 January 2006]

Imperial College Television Studio (1980) 'Focus on information: the office of the professional' (video), Production number 1003.

Inselberg, A. (1985) 'The plane with parallel coordinates', *The Visual Computer*, 1, pp. 69–91.

Inselberg, A. (1997) 'Multidimensional detective', IEEE, Proceedings of Information Visualization '97, pp. 100–107.

Intraub, H. (1980) 'Presentation rate and the representation of briefly glimpsed pictures in memory, *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, pp. 1–12.

Irani, P.P. and Eskicioglu, R. (2003) 'A space-filling visualization technique for cellular network data', International Conference on Knowledge Management (IKNOW-03), Springer Verlag, Graz, Austria, pp. 115–120.

Johnson, B. and Shneiderman, B. (1991) 'Tree-maps: a space-filling approach to the visualisation of hierarchical information structures', IEEE, Proceedings Information Visualization '91, pp. 284–291.

Jul, S. and Furnas, G.W. (1997) 'Navigation in electronic worlds: a CHI workshop', New York, ACM SIGCHI Bulletin, 29, pp. 44–49.

Kaasten, S., Greenberg, S. and Edwards, C. (2002) 'How people recognise previously seen web pages from titles, URLs and thumbnails', in 'People and Computers XVI' (eds Faulkner, X., Finlay, J. and Detienne, F.), Proceedings HCI 2002, London, Springer, pp. 247–265.

Kadmon, N. and Shlomi, E. (1978) 'A polyfocal projection for statistical surfaces', *The Cartographic Journal*, 15, 1, pp. 36–41.

Keim, D.A., Kreigel, H.-P. and Seidl, T. (1993) 'Visual feedback in querying large databases', IEEE, Proceedings Visualization '93, pp. 158–165 and colour plate CP-15.

Komlodi, A. and Marchionini, G. (1998) 'Key frame preview techniques for video browsing', ACM, Proceedings of Digital Libraries '98, pp. 118–125.

Lam, K. and Spence, R. (1997) 'Image browsing – a space-time trade-off', Proceedings INTERACT '97, pp. 611–612.

Lamping, J. and Rao, R. (1994) 'Laying out and visualising large trees using a hyperbolic space', ACM, Proceedings UIST '94, pp. 13–14.

Lamping, J., Rao, R. and Pirolli, P. (1995) 'A Focus+Context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies', ACM, Proceedings CHI '95, pp. 401–408.

Lamping, J. and Rao, R. (1996) 'The hyperbolic browser: a Focus+Context technique based on hyperbolic geometry for visualising large hierarchies', *Journal of Visual Languages and Computing*, 7, 1, pp. 33–55.

Leung, Y.K. and Apperley, M.D. (1994) 'A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques', ACM Transactions on Computer Human Interaction, 1, 2, pp. 126–160.

Leung, Y.K., Spence, R. and Apperley, M.D. (1995) 'Applying bifocal displays to topological maps', *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7, 1, pp. 79–98.

Lewis, D. (1994) *We, the Navigators*, Honolulu, University of Hawaii Press.

Li, Q. and North, C. (2003) 'Empirical comparison of dynamic query sliders and brushing histograms', IEEE, 2003 Symposium on Information Visualization, pp. 147–154.

Living Memory (2000) http://www.design.philips.com/lime

MacEachren, A.M. (2004) *How Maps Work: Representation, Visualization and Design*, New York, Guilford Press.

Mackinlay, J. (1986) 'Automating the design of graphical presentations of relational information', ACM, Transactions on Graphics, 5, 2, pp. 110–141.

Mackinlay, J.D., Robertson, G.G. and Card, S.K. (1991) 'Perspective wall: detail and context smoothly integrated', ACM, Proceedings CHI '91, pp. 173–179.

Malone, T.W. (1983) 'How do people organise their desks? Implications for the design of office information systems', ACM, Transactions on Office Information Systems, 1, pp. 99–112.

McGuffin, M. and Balakrishnan, R. (2002) 'Acquisition of expanding targets', ACM, Proceedings CHI 2002, pp. 57–64.

Miller, T. and Stasko, J. (2001) 'Information conveyance through personalised, expressive art', ACM, Proceedings CHI '01, pp. 305–306.

Mitta, D.A. (1990) 'A fisheye presentation strategy: aircraft maintenance data',

in Diaper, D., Gilmore, D., Cockton, G. and Shackel, B. (eds) *Human–Computer Interaction – INTERACT '90*, Amsterdam, Elsevier, pp. 875–878.

Moreno, J.L. (1934) *Who Shall Survive?*, Washington, DC: Nervous and Mental Disease Publishing Company.

Morin, M. and Albinsson, P-A. (2005) 'Exploration and context in communication analysis', in Bowers, C., Salas, E. and Jentsch, F. (eds) *Creating High-Tech Teams: Practical Guidance on Work Performance and Technology*, Washington, DC, APA Press, pp. 89–112.

Morris, C.J., Ebert, D.S. and Rheingans, P. (1999) 'An experimental analysis of the pre-attentiveness of the features in Chernoff faces', IEEE, Proceedings of Applied Imagery Pattern Recognition '99: 3D Visualization for Data Exploration and Decision Making, October 1999.

Munro, A.J., Hook, K. and Benyon, D. (eds) (1999) *Social Navigation of Information Space*, London, Springer.

Newton, C.M. (1978) 'Graphics: from alpha to omega in data analysis', in Wang, P.C.C. (ed.) *Graphical Representation of Multivariate Data*, Orlando, Academic Press, pp. 59–92.

Nielsen, J. (2000) 'Is navigation useful?', Jakob Nielsen's Alertbox, 9 January. http://www.Useit.com/alert-box/20000109.html [accessed 6 August 2004]

Nielsen, J. and Tahir, M. (2002) *Homepage Usability*, Indianapolis, New Riders.

Nightingale, F. (1858) *Notes on Matters Affecting the Health, Efficiency and Hospital Administration of the British Army*, London, Harrison and Sons.

Norman, D.A. (1988) *The Design of Everyday Things*, New York, Doubleday (also published as *The Psychology of Everyday Things*, New York, Basic Books).

Norman, D.A. (2004) http://www.jnd.org/dn.mss/affordances_and.html [accessed 26 December 2005]

Norman, K.L. (1991) *The Psychology of Menu Selection*, Bristol, Intellect.

Norman, K.L. and Chin, J.P. (1988) 'The effect of tree structure on search in a hierarchical menu selection system', *Behaviour and Information Technology*, 7, 1, pp. 51–65.

Ovenden, M. (2003) *Metro Maps of the World*, Harrow Weald, Capital Transport Publishing.

Pirolli, P. and Card, S.K. (1999) 'Information foraging', *Psychological Review*, 106, 4, pp. 643–675.

Potter, M. (1993) 'Very short-term conceptual memory', *Memory and Cognition*, 21, pp. 156–161.

Potter, M. (1999) 'Understanding sentences and scenes: the role of conceptual short-term memory', in Coltheart, V. (ed.) *Fleeting Memories: Cognition of Brief Visual Stimuli*, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 13–46.

Potter, M.C. (1976) 'Short-term conceptual memory for pictures', *Journal of Experimental Psychology – Human Learning and Memory*, 2, pp. 509–522.

Potter, M.C. and Levy, E.I. (1969) 'Recognition memory for a rapid sequence of pictures', *Journal of Experimental Psychology*, 81, pp. 10–15.

Potter, M.C., Staub, A., Rado, J. and O'Connor, D.H. (2002) 'Recognition memory for briefly presented pictures: the time course of rapid forgetting', *Journal of Experimental Psychology – Human Perception and Performance*, 28, pp. 1163–1175.

Pu, P. and Lalanne, D. (2000) 'Interactive problem solving via algorithm visualization', IEEE, Proceedings InfoVis 2000, pp. 145–153.

Rao, R. (1999) 'See & go manifesto', ACM, Interactions, September and October, p. 64 onwards.

Rao, R. and Card, S.K. (1994) 'The table lens: merging graphical and symbolic representations in an interactive focus+context visualization for tabular information', ACM, Proceedings CHI '94, pp. 318–322.

Raymond, J.E., Shapiro, K.L. and Arnell, K.M. (1992) 'Temporary suppression of visual processing in an RSVP task – an attentional blink', *Journal of Experimental Psychology – Human Perception and Performance*, 18, pp. 849–860.

Rensink, R.A. (2002) 'Change detection', *Annual Review of Psychology*, pp. 245–277.

Rensink, R.A. http://www.usd.edu/psyc301/ChangeBlindness.htm [accessed 24 December 2005]

Rensink, R., O'Regan, J.K. and Clark, J.J. (2000) 'On the failure to detect changes in scenes across brief interruptions', *Visual Cognition* 7 (1/2/3), pp. 127–145.

Robertson, G.G., Mackinlay, J.D. and Card, S.K. (1991) 'Cone trees: animated 3D visualizations of hierarchical information', ACM, Proceedings CHI '91, pp. 189–194.

Ryall, K., Morris, M.R., Everitt, K., Forlines, C. and Shen, C. (2005) 'Experience with and observation of direct touch tabletops', Mitsubishi Electric Research Laboratories, Report TR2005-108, December.

Schon, D.A. (1983) *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*, New York, Basic Books.

Shneiderman, B. (1996) 'The eyes have it: a task by data type taxonomy of information visualizations', IEEE, Proceedings Visual Languages '96, pp. 336–343.

Siirtola, H. (2000) 'Direct manipulations of parallel coordinates', IEEE, Proceedings Information Visualization 2000 (IV00), pp. 373–378.

Siirtola, H. (2005) 'The effect of data-relatedness in interactive glyphs', IEEE, Proceedings IV05, pp. 869–876.

Siirtola, H. (2006) 'Interacting with parallel coordinate', *Interacting with Computers* (forthcoming).

Simon, H. (1996) *The Sciences of the Artificial* (3rd Edition), Cambridge, MA, MIT Press.

Simons, D.J. and Chabris, C.F. (1999) 'Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events', *Perception*, 28, 9, pp. 1059–1074.

Smith, A.J., Malik, Z., Nelder, J. and Spence, R. (2001) 'A visual interface for model fitting', *Quality and Reliability Engineering International*, 17, pp. 85–91.

Smith, D. (1999) *The State of the World Atlas* (6th Edition), London, Penguin.

Snowberry, K., Parkinson, S.R. and Sisson, N. (1983) 'Computer display menus', *Ergonomics*, 26, 7, pp. 699–712.

Snowberry, K., Parkinson, S.R. and Sisson, N. (1985) 'Effects of help fields on navigating through hierarchical menu structure', *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, pp. 479–491.

Spence, R. (1999) 'The facilitation of insight for analog design', IEEE, Transactions on Circuits and Systems II, 46, 5, pp. 540–548.

Spence, R. (2002) 'Rapid, serial and visual: a presentation technique with potential', *Information Visualization*, 1, 1, pp. 13–19.

Spence, R. (2004) 'Sensitivity, residue and scent', *Information Design Journal*, 12, 3, pp. 163–180.

Spence, R. and Apperley, M.D. (1974) 'On the use of interactive graphics in circuit design', IEEE, Proceedings of the International Symposium on Circuits and Systems, pp. 558–563.

Spence, R. and Apperley, M.D. (1977) 'The interactive man–computer dialogue in computer-aided electrical circuit design', IEEE, Transactions on Circuits and Systems, CAS-24, 2, pp. 49–61.

Spence, R. and Apperley, M.D. (1982) 'Data base navigation: an office environment for the professional', *Behaviour and Information Technology*, 1, 1, pp. 43–54.

Spence, R. and Drew, A.J. (1971) 'Graphical exploration in electrical circuit design and modelling', NRC, Ottawa, Proceedings 2nd Man–Computer Communications Seminar, pp. 61–70.

Spence, R. and Parr, M. (1991) 'Cognitive assessment of alternatives', *Interacting with Computers*, 3, 3, pp. 270–282.

Spence, R. and Soin, R.S. (1988) *Tolerance Design of Electronic Circuits*, London, Addison-Wesley.

Spence, R. and Tweedie, L. (1998) 'The Attribute Explorer: information synthesis via exploration', *Interacting with Computers*, 11, pp. 137–146.

Spoerri, A. (1993) 'InfoCrystal: a visual tool for information retrieval', IEEE, Proceedings Visualisation '93, pp. 150–157.

Spotfire: www.spotfire.com [last accessed 24 April 2006]

Stasko, J. and Zhang, E. (2000) 'Focus+Context display and navigation techniques for enhancing radial, space-filling hierarchy visualizations', IEEE, Proceedings of Information Visualization 2000, pp. 57–65.

Stathis, K., de Bruijn, O. and Macedo, S. (2002) 'Living memory: agent-based information management for connected local communities', *Interacting with Computers*, 14, 6, pp. 663–688.

Stephens, D.W. and Krebs, J.R. (1986) *Foraging Theory*, Princeton, NJ, Princeton University Press.

Stock, D. and Watson, C.J. (1984) 'Human judgement accuracy, multidimensional graphics and humans versus models', *Journal of Accounting Research*, 22, 1, pp. 192–206.

Stone, M., Fishkin, K. and Bier, E. (1994) 'The movable filter as a user interface tool', ACM, Proceedings CHI '94, pp. 306–312.

Su, H., Nelder, J., Wolbert, P. and Spence, R. (1996) 'Application of generalized linear models to the design improvement of an engineering artefact', *Quality and Reliability Engineering International*, 12, pp. 101–112.

Sun, L. and Guimbretiere, F. (2005) 'Flipper: a new method of digital document navigation', ACM, Proceedings CHI '05, Late Breaking Results: short papers, pp. 2001–2004.

Sutherland, I.E. (1963) *SKETCHPAD: A Man-Machine Graphical Communication System*, Spring Joint Computer Conference, Baltimore, Spartan Books.

Tauscher, L. and Greenberg, S. (1997) 'Revisitation: patterns in world wide web navigation', ACM, Proceedings CHI '97, pp. 399–406.

Teoh, S.T. and Ma, K-L. (2005) 'Hifocon: object and dimensional coherence and correlation in multidimensional visualization', Proceedings International Symposium on Visual Computing (ISVC '05), December, pp. 235–242.

Tory, M. and Moller, T. (2004) 'Rethinking visualization: a high-level taxonomy', IEEE, Proceedings of the Symposium on Information Visualization, pp. 151–158.

Tse, T., Marchionini, G., Ding, W., Slaughter, L. and Komlodi, A. (1998) 'Dynamic key frame presentation techniques for augmented video browsing', ACM, Proceedings of the Conference on Advanced Visual Interfaces, pp. 185–194.

Tufte, E.R. (1983) *The Visual Display of Quantitative Information*, Cheshire, CT, Graphics Press.

Tufte, E.R. (1997) *Visual Explanations*, Cheshire, CT, Graphics Press.

Tversky, B. (1993) 'Cognitive maps, cognitive collages and spatial mental models', in 'Spatial information theory – a theoretical basis for GIS', Proceedings of the European Conference COSIT '93, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, pp. 14–24.

Tweedie, L.A. (1997) 'Characterizing interactive externalizations', ACM, Proceedings CHI '97, pp. 375–382.

Tweedie, L. and Spence, R. (1998) 'The prosection matrix: a tool to support the interactive exploration of statistical models and data', *Journal of Computational Statistics*, 13, 1, pp. 65–76.

Tweedie. L., Spence, R., Dawkes, H. and Su, H. (1995) 'The influence explorer', ACM, Companion Proceedings CHI '95, pp. 129–130.

Tweedie, L., Spence, R., Dawkes, H. and Su. H (1996) 'Externalizing abstract mathematical models', ACM, Proceedings CHI '96, pp. 406–412.

Tweedie, L., Spence, R., Williams, D.M.L. and Bhogal, R. (1994) 'The Attribute Explorer', ACM, Conference Companion Proceedings CHI '94, pp. 435–436. Also Video Proceedings.

Varakin, D.A., Levin, D.T. and Fidler, R. (2004) 'Unseen and unaware: implications of recent research on failures of visual awareness for human–computer interface design', *Human–Computer Interaction*, 19, pp. 389–422.

Ware, C. (2004) *Information Visualization: Perception for Design* (2nd Edition), Amsterdam, Morgan Kaufman.

Ware, C. and Lewis, M. (1995) 'The DragMag image magnifier', ACM, Video Program and Companion Proceedings CHI '95, pp. 407–408.

Watson, M., Russell, W.J. and Sanderson, P. (1999) 'Ecological interface design for anaesthesia monitoring', IEEE, Proceedings of the 11th Australia–New Zealand Conference on Computer–Human Interaction (OzCHI '99), Wagga Wagga, New South Wales, pp. 78–84.

Watson, M. and Sanderson, P. (2004) 'Sonification helps eyes-free respiratory monitoring and task timesharing', *Human Factors*, 46, 3, pp. 497–517.

Wegman, E.J. (1990) 'Hyperdimensional data analysis using parallel coordinates', *Journal of the American Statistical Association*, Theory and Methods, 85, 411, pp. 664–675.

Westphal, C. and Blaxton, T. (1998) *Data Mining Solutions: Methods and Tools for Solving Real-World Problems*, New York, Wiley.

Wildbur, P. and Burke, M. (1998) *Information Graphics: Innovative Solutions in Contemporary Design*, London, Thames & Hudson.

Williamson, C. and Shneiderman, B. (1992) 'The dynamic housefinder: evaluating dynamic queries in a real estate information exploration system', ACM, Proceedings SIGIR '92, pp. 339–346.

Wittenburg, K. (1997) 'Navigation and search: what's the difference?', Position paper for the CHI '97 Workshop on Navigation in Electronic Worlds (March 23–24, 1997, Atlanta, GA). [See Jul and Furnas, 1997.]

Wittenburg, K., Ali-Ahmad, W., LaLiberte, D. and Lanning, T. (1998) 'Rapid-fire image previews for information navigation', ACM, Proceedings of the Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI-1998), pp. 76–82.

Wittenburg, K., Chiyoda, C., Heinrichs, M. and Lanning, T. (2000) 'Browsing through rapid-fire imaging: requirements and industry initiatives', SPIE, Proceedings of Electronic Imaging, pp. 48–56.

Wittenburg, K., Forlines, C., Lanning, T., Esenther, A., Harada, S. and Miyachi, T. (2003) 'Rapid serial visual presentation techniques for consumer digital video devices', ACM, Proceedings Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp. 115–124.

Wittenburg, K., Lanning, T., Heinrichs, M. and Stanton, M. (2001) 'Parallel bargrams for consumer-based information exploration and choice', ACM, Proceedings of UIST '01, pp. 51–60.

Woods, D. (1984) 'Visual momentum: a concept to improve the cognitive coupling of person and computer', *International Journal of Man–Machine Systems*, 21, 3, pp. 229–244.

Woods, D.D. and Watts, J.C. (1997) 'How not to have to navigate through too many displays', in Helander, M.G., Landauer, T.K. and Prabhu, P. (eds), *Handbook of Human–Computer Interaction* (2nd Edition), Amsterdam, Elsevier Science.

Wright, H., Brodlie, K. and David, T. (2000) 'Navigating high-dimensional spaces to support design steering', IEEE, Proceedings Symposium on Information Visualization, pp. 291–296.

索　引

Information Visualization: Design for Interaction, 2E

索引中标注的页码为英文原书页码，与书中边栏的页码一致。

注意：斜体页码表示图片；页码后加n的表示脚注。

a priori importance (API) concept (先验重要性（API）概念), 111, 112
accountancy data (会计学数据), 67
Adams, D., Hitchhiker's Guide to the Galaxy, 170n
ADVIZOR visualization tool (ADVIZOR可视化工具), 186
affordances (预示), 152-153
 of bargrams (条状图预示), 199
agent-based recommender systems (基于代理的推荐系统), 198
aggregate sensitivity (聚合敏感度), 154
aggregation of data (数据聚合), 35
'Ah HA!' reaction ("啊哈！"反映), 5, 136
Ahlberg, C., 60, 154
aircraft altimeter (飞机高度计), 31-33, 179
aircraft automatic pilot (飞机自动驾驶), 170
aircraft maintenance (飞机维护), 113
Albinsson, P.-A., 39, 65, 217, 219, 220
algorithms, monitoring progress of (算法，过程监控), 170-171
Analyst's notebook (分析师的笔记), 74
Andrews, K., 220, 260
Andrienko, G., 155
Andrienko, N., 155
animation (动画)
 change in view of data (数据视图变换), 177-178, *178*, 192
 design proposal, videos illustrating (设计提案，演示视频), 244, 247
 'pop-outs' (醒目), 50-51, 147-149
Apperley, M.D.,9, 103, 105, 107, 139, 166, 188, 204, 240, 246, 259
archival galaxies (档案银河), 220-230
Arnold, C.J., 71
artistic encoding, video illustrating (艺术性编码，演示视频), 243-244
assessment of content (内容评估), 168
association style chart (关联风格图表), 75
 attentional blink (注意瞬脱), 126n
attribute(s) (属性), 17, 234
 multiple (多属性), 20
 separation of two (两属性分隔), 37-39
attribute correlation (属性相关性), 70, 147
Attribute Explorer (属性浏览器), 60, 61-65, 69, 70, 137-138, 144, *145*, 147, *148*, 198
 colour encoding in (颜色编码), 62, 63-64, 153-154, 176
 compared with Dynamic Queries interface (和动态查询界面的比较), 64, 155
 insight acquisition supported by (启示获取), 187, 217
 linked histograms in (关联直方图), 61, *63*, 147, *148*, 174-175
 in MIND system (MIND系统), 217-219
 performance limits (性能限制), 174-176
 scent evaluation in (气味评估), 162
 videos illustrating (演示视频), 242-243
attribute visibility (属性可见性), 59, 70, 234
aural encoding of data (数据声学编码), 34
 videos illustrating (演示视频), 241-242
automated design, human guidance of , video illustrating (自动设计，用户指导，演示视频), 256-257
Ayers, E., 207

Baar, D., *109*, 247, 249
BACK button (回退按钮), 156, 163, *164*
Balakrishnan, R., 109, 129
bargrams (条状图), 18, 35, *36*, 56, 197
 applications (应用), *19-25*, 197-206

characteristics (特点), 199
parallel (平行), *20-23*, *25*, 199, *200*
Baudisch, P, 116
BEAD document exploration/searching tool (BEAD 文件探索/查找工具), 221
Beck, Harry, 3, *4*, 29, 54-55, 75, *76*, 77
Becker, R.A., 30, 144
Bederson, B.B., 107, 117, 187
Bendix, F., 59
Bertin, J., 52, 53, 53n, 150
Beshers, C., 59
Bier, E.A., 114
bifocal display (双焦显示), 103-105, 119, 248, 249
3D effect introduced (三维效果), 109, *110*
use in calendar (日历应用), 107, *108*, 188, *189*
videos illustrating (演示视频), 246-247
bioinformatics (生物信息学), 105, 114
Bird, R., 244, 247
bivariate data, representation of (双变量数据及其描述), 36-42
Bjork, S., 109
Blaxton, T., 9, 73
blindness (盲视)
change blindness (变化盲视), 10, 32, 146, 179
design to counteract (中和设计), 180
inattentional blindness (非注意盲视), 10, 179
Bolt, R.A., 97
brain scan data, video illustrating (脑部扫描数据, 演示视频), 241
Brayton, R.K., 155
breadcrumb trails (历史信息跟踪), 163-167, 234
experimental study (实验研究), 166-167
see also location breadcrumb...; path breadcrumb trails (见位置历史信息; 路径历史信息跟踪)
briefly glimpsed images (一瞥而过的图片库), 123
Broad Street (Soho, London) , cholera epidemic (Broad街 (伦敦Sohu区), 霍乱), 3
browsing (浏览), *122*, 142, 168-169, 234-235
video illustrating (演示视频), 252
brushing (扫光), 22, 38-39, 45, 201, 235
brushing histograms (扫光直方图), 64, 174
Bryson, B., 3
Buja, A., 176
Burke, M., 153
Cairns, P., 19, 117
calendars (日历)
on PDAs (PDA上的日历), 107, *108*, 187-196
see also FishCal calendar (见FishCal日历)
cam tree (cam树), 85
Canales, M. 77
car purchasing (汽车购买), 16-25, *30*, *31*, *35*, *36*, 55, 58-59, *72*, 155, *156*, 168, 200-203
Card, S.K., 105, 160, 178, 188, 244, 249
cartoon faces (卡通脸), 66-67
case studies (案例分析), 185-233
'archival galaxies' (档案银河), 220-230
'communication analysis' (通信分析), 216-220
'selecting one from many' (从多个对象中选取一个对象), 197-206
'small interactive calendars' (小型交互式日历), 187-196
'Web browsing through a keyhole' (基于锁眼的网页浏览), 206-216
categorical data (类别型数据), 5, 6, 35
encoding of (编码), 54-56
representation of (描述), *36*
Chabris, C.F., 10, 179
Chalmers, M., 151, 221
change alerts (变化警告), 146-147, 180
change blindness (变化盲视), 10, 32, 146, 179
Chernoff, H., 66
Chernoff faces (Chernoff脸), 66-67, 69
Cherry, E.C., 180
Chi, E.H., 160
Chi, J.P., 158
Chiyoda, C., 251
'circle size' representation ("圆的大小" 描述), 9, 46, *47*, 51, 56, 147
videos illustrating (演示视频), 239-240, 256
city populations (城市人口) *47*, *51*
Cleveland, W.S., 30, 31n, 34, 52, 54, *55*, 144
cluster maps (族群图), 82-83
Cockburn, A., 118, 129, 163, 207, 250
cockpit, computer-aided electronic circuit design system (cockpit计算机辅助数字电路设计系统), 170, *171*, 257

Coekin, J.A., 58, 59
coffee table LCD display (咖啡桌LCD显示屏), 138, 168, 172
 video illustrating (演示视频), 254
cognition (认知), 31
cognitive collages (认知拼贴图), 10, *11*
cognitive map (认知地图), 10
Colgan, L., 169, 256
collaboration (协作), 109, *110*, 182
 videos illustrating (演示视频), 241-242, 248
collage RSVP mode of image presentation (图像表示的拼贴图RSVP模式), 121, *122*, 128
colour encoding (颜色编码), 62, 63-64, 153-154, 176
 videos illustrating (演示视频), 243, 256-257
Coltheart, V., 123, 130
command-and-control of safety-critical activities (对安全性要求很高的活动的命令和控制), 216-217
communication analysis (通信分析), 65, 216-220
composite interaction (混合型交互), 141, 173-177
computational support (计算支持), 6-9
conceptual short-term memory (概念型短期记忆), 130, 168, 235
cone trees (锥形树), 85, 177-178
 video illustrating (演示视频), 244-245
conjunction encoding (联合编码), 48, *49*
context (上下文), 101, 102
 video illustrating (演示视频), 245-246
contextual data (上下文数据), 217
continuity (连续性), 180
 video illustrating (演示视频), 249
continuous information spaces (连续信息空间), 139, *141*
continuous interaction (连续交互), 140, *141*, 144-149, 174-176
Cooper, K., *124*, 126&n, 253
coordinate plots (坐标图), 56-60
Craft, B., 19, 117
Crimean hospital death rates (Crimean医院的死亡率), 2
Csallner, C., 89, 245
currency dealing (货币交易), 169, *170*
Czerwinski, M.P., 97, 187
data (数据)
 complexity (复杂度), 30-31
 presentation of (数据表示), 17-18
 types (类型), 5-6, 30
Data Visualization Sliders (数据可视化滑块), 64
database queries procedure (数据库查询程序), 197-198
DateLens calendar (DateLens日历), 187
 see also FishCal calendar (见FishCal日历)
Davidson, C., 9, 11, 73
Dawkes, H., 255
Dawson, R.J.McG., 65
de Bruijn, O., 121, 208, 209, 252, 253, 254, 259
De Soete, G., 68
degree-of-interest (DoI) concept (感兴趣度（DoI）概念), 111, 112, 188
 applications (应用), 113, 188, *190*
derived value(s) (导出值), 30, 35, 235
design (设计)
 case studies (案例分析), 186-233
 characteristics (特点), 185
detail (细节), 18, 20, 235
diagonal/'time tunnel' (moving) mode of image presentation (图片表示的对角线/“时间隧道”（活动）模式), *124*, 125
 video illustrating (演示视频), 253
diagrams (图表), 79-82
dimension(s) (维度), 31
dimension correlation see attribute correlation (维度相关性，见属性相关性)
dimension visibility (维度可见性), 70, 234
 see also attribute visibility (见属性可见性)
discrete information spaces (离散信息空间), 137, 139, 140, *141*
 stepped interaction in (离散信息空间内的渐进式交互), 149-150
display area (显示区域), 123
distance of node from focus of attention (结点距当前焦点的距离), 111
distant content (远端内容), 156
distortion techniques (变形技术), 103-109
 applications (应用), 105, 107, 109

combined with suppression (变形和抑制的结合), 115-116
applications (应用), 186, 188
halo technique (halo技术), 116
rubber sheet technique (橡皮技术), 115
videos illustrating (演示视频), 246, 247-250, 259
DiVita, J., 178
Dix, A., 140n
document collections, exploration and searching of (文件库及其探索和查找), 220-230
domain-specific glyphs (基于应用的字形), 199, 202
Dourish, P., 151
DragMag image magnifier (DragMag图像放大器), 102
Drew, A.J., 9, 147, 239, 254
drugs development (制药业), 7, 8, 56
Durlach, P.,A., 180
dust-and-magnet visualization technique, video illustrating (dust-and-magnet可视化技术，演示视频), 258
Dynamic Queries interface (动态查询界面), 154-155, 168, 198
compared with Attribute Explorer (和属性浏览器的比较), 64, 155
dynamic query(ing) (动态查询), 9, 235
video illustrating (演示视频), 240
dynamic representation, video illustrating (动态描述，演示视频), 242, 254-255
dynamically triggered 'pop=outs' (动态触发的“醒目”), 50-51, 147-149

electronic circuit design (数字电路设计), 9, 40, *42*, 46, 139, 149
videos illustrating (演示视频), 239-240, 256-257
emergency service exercise (紧急服务演习), 65
encoding (编码)
choice of (编码选择), 51-56
Bertin's guidance (Bertin指导原则), 52-54
Cleveland and McGill's guidance (Cleveland和McGill指导原则), 54, *55*
Mackinlay's guidance (Mackinlay 指导原则), 54-56
of relations (关系编码), 71-91
of values (数值编码), 31-70
engineering design (工业设计), 147, *148*
further vision [video] (改进想法[视频]), 241-242
videos illustrating (演示视频), 241-242, 255
engineering drawings (工业制图), 113
entertainment guide (娱乐向导), 137, 139, 149
epidemical failure (传染性失误), 46
Eskicioglu, R., 49
expanding image/target (图像/对象扩展), 128-129
exploration (探索), 24-25, 151, 235
exploratory analysis, by Attribute Explorer (基于属性浏览器的探索性分析), 217-218
exploratory browsing (探索式浏览), 141, 168, 169, 235
eye-gaze behaviour (眼球活动行为), 125-126, 168
investigation of (调查), 126
see also fixations; saccades (见凝视；扫视)
EZChooser visualization tool (EZChooser 可视化工具), 18n, 25, 35, 155, *156*, 167, 168
bargrams in EZChooser (EZChooser中的条形图), *18-25*, 197, 199, *200*
case study (案例分析), 197-206
existing solutions (已有方法), 198-199
problem (问题), 197
task (任务), 197-198
compared with other query systems (和其他查询系统的比较), 203-205
data exploration in EZChooser (EZChooser中的数据探索), 200-201, *203*
evaluation of EZChooser (EZChooser的评估), 205
sensitivity (敏感度), 202

Farrand, W.A., 116
Fawcett, C., 127
Feiner, S.K., 59
Field, G.E., 166
Film Finder interface (电影查询界面), 61
filtering (过滤), 23, 155
FishCal calendar (FishCal 日历), 187-196
background (背景), 188-189
calendar views (日历视图), 190-191
compared with Pocket PC calendar (和Pocket PC日历的比较), 192-196

design philosophy (设计哲学), 187-188
interactive control (交互控制), 191-192
search facility (查找功能), 192
usability study (可用性研究), 193-196
fisheye lens concept (鱼眼透镜概念), 117, 187
fixations (凝视), 125-126, 235
fleeting images (转瞬即逝的图像), 123
flip-zoom technique (翻转—缩放技术), *108*, 109
video illustrating (演示视频), 247
Flipper visual search system (Flipper视觉查找系统), 121
floating RSVP mode of image presentation (图像描述的悬浮RSVP模式), 121, *122*, 128
video illustrating (演示视频), 251
Fliut, C., 82, 83
focus+context problem (焦点+上下文问题), 103
historical note (历史评论), 116-117
focus+context techniques (焦点+上下文技术), 103-116
videos illustrating (演示视频), 246, 248, 250, 159
focusing (聚焦), 22
foraging theory (搜索理论), 160
forensic investigations (法庭调查), 74-75
formulation of problem (问题形成), 17
foveal angle (in eye) ((眼球) 视网膜中央凹点), 126, 146
Fowlkes, E.B., 144
fraud investigations (欺诈调查), 11, 72-73
Freeman, L.C., 77, 78, *78-79*
Friendly, M., 6n, 65, 66
FundExplorer, video illustrating (基金浏览器, 演示视频), 245-246
Furnas, G.E., 176
Furnas, G.W., 109, 117, 151, 156, 188, *189*

galaxy metaphor (for document archive) ((文件档案的) 银河隐喻), 223
video illustrating (演示视频), 260
Garland, K., 77
GENSTAT package (GENSTAT 包), 161
geographical maps (地理地图), 101-103, *110*, 113-114
geological samples (地质采样), 66-67
geometric zoom (几何缩放), 117, 118-119
compared with semantic zoom (和语义缩放相比较), 119
geovisualization (地理可视化), 12, 13
Gibson, J.J., 152&n
glossary (术语), 234-237
glyph(s) (字形), 69, 235
domain-specific (基于应用的字形), 199, 202
'go and see' approach ("先走后看" 方法), 155, 168, 186
Goodman, T.G., 140
Google Earth (谷歌地球), 118
Granitzer, M., 229
Greenberg, S., 163, 212
Grimes, J., 179
Grimshaw, C., *100*
gross national product (GNP) data (国民生产总值 (GNP) 数据), 178, *179*
Guides technique (Guides技术), 198
Ghuimbretiere, F., 121

halo (combined distortion/suppression) technique (halo (结合变形/抑制) 技术), 116
Handte, M., 245
Heinrichs, M., 251
help fields (帮助字段), 158-159
Herot, C.F., 40, 119
hierarchical data presentation, videos illustrating (层次数据表示, 演示视频), 250
hierarchically ordered objects, hyperbolic browser representation (层次排序的对象, 双曲线浏览器描述), *90*, *91*, *222*
hierarchically structured menu-based systems (基于菜单的层次结构的系统), 157-159
high-resolution graphic displays (高分辨率图形显示), 6-7
higher-order cognitive processes (高阶认知过程), 27
histograms (直方图), 35, *36*
linked (关联直方图), 37-38, *41*, 61-65
HIVE, *88*
Hochheiser, H., 37
Hodges, W., *12*
Holmquist, L.E., 109, 247

Hook, K., 156
hotels (旅馆), 81-82, 82-83
house purchasing (住房购买), 37-39, *37*, *41*, 44-45, 56, *57*, 61-64, 68, 81, 137-138, 153-155, 198
'how do I get there?' ("我怎样到达那里？"), 150, 151
human user (人类用户), 10-11
human visual performance, models of (人类视觉行为，人类视觉行为模式), 129-130
hyperbolic browser (双曲线浏览器), 89-91, *222*, 223
hypervariate data (超变量数据)
 representation of (描述), 56-70
 in applications (应用), 186, 197-206

i2, 74
iconic encoding (图标编码), 56, 66-69
icons (图标), 66-69
IDELIX Software Inc. (IDELIX 软件有限公司), *109*, *110*, 248, 249
image presentation (图像表示)
 collage RSVP mode (拼贴图), RSVP模式121, *122*, 128
 diagonal/'time tunnel' (moving) mode (对角线/"时间隧道"（活动）模式), *124*, 125
 video illustrating (演示视频), 253
 floating RSVP mode (悬浮RSVP模式), 121, *122*, 128
 video illustrating (演示视频), 121, *122*, 128
 manual control of (手动控制的图像表示), 128-129
 mixed (static) mode (混合型（静态）模式), 124
 video illustrating (演示视频), 253
 rate of presentation (表示速度), 120, *123*
 relative advantages (相对优势), 126-128
 ring (moving) mode (环形（运动）模式), *124*, 125
 video illustrating (演示视频), 253
 slide-show mode (幻灯片模式), 120, 124, 186
 videos illustrating (演示视频), 253
 stream (moving) mode (流（运动）模式), *124*, 125
 video illustrating (演示视频), 253
 tile mode (堆模式), 120, 124, 208, 209
 video illustrating (演示视频), 253
 see also rapid serial visual presentation (见快速序列视觉表示)
Imperial College Television Studio (伦敦帝国理工学院电视工作室), 103
inattentional blindness(非注意盲视), 10, 179
Influence Explorer, video illustrating (影响力浏览器，演示视频), 255
InfoCanvas, video illustrating (InfoCanvas，演示视频), 243-244
InfoCrystal, 81-82
information space(s) (信息空间)
 continuous (连续信息空间), 139
 discrete (离散信息空间), 137, 139, 140
 movement/navigation in (信息空间内的活动/定位), 25-26
 type (信息空间类别), 139-140
information visualization, means of term (信息可视化，术语), 12
InfoSky visual explorer (InfoSky视觉浏览器), 220
 background (背景), 220
 compared with Tree Viewer (和树浏览器比较), 228-229
 design decisions (设计决定), 223-224
 earlier work (早期工作), 221-223
 evaluation of (评估), 228-229
 interaction (交互), 224
 layout (布局), 227-228
 requirements (要求), 221
 search facility (查找功能), 224-227
 video on (视频), 260
InfoZoom query system (InfoZoom查询系统), 205
Inselberg, A., 9, 56, 59
insight (启示), 5, 16, 62, 64, 136, 235
Institute for Visualization and Perception Research (视觉和感知研究所), 241
intelligence analysis (智能分析), 74
intention of user (用户意图), 141-142
interaction (交互), 14, 24, 25, 26, 136-184
 composite mode (混合模式), 141, 173-177
 continuous mode (连续模式), 140, 144-149
 framework (框架), 142-144

see also Norman's Action Cycle (见Norman动作周期)
modes (模式), 140-141
passive mode (被动模式), 140-141, 167-172
scenarios (情景), 136-139
stepped mode (渐进式模式), 137, 140, 149-167
video illustrating (演示视频), 259
interaction design (交互设计), 180-182
case studies (案例分析), 185-233
complexity (复杂度), 182
palettes for (调色板), 91, *92*, 130, *131*, 180, *181*
interaction dynamics (交互动态性), 177
interactive attribute selection (交互式属性选择), 21-22
interactive bargrams, applications (交互式条形图, 应用), 18-19, 21-22, 186
interactive histograms (交互式直方图), 56, 64
interactive movement in information space (信息空间内的交互移动), 25-26
see also navigation (见定位)
interactive object selection (交互式对象选择), 18-19
interactive rearrangement (交互式重排), 17
interactive table (交互式表格), 109, *110*
video illustrating (演示视频), 248
internal model (内部模型), 10
interpretation (解释), 27
Intraub, H., 130
investment portfolio (投资组合), 56
video illustrating (演示视频), 245-246
involuntary browsing (无意浏览), 141, 168, 235
Norman's Action Cycle for (Norman动作周期), 172
iPhoto, 121, 128
Irani, P.P., 49
'is it here?' ("它在这里吗?"), 120
item vector (对象向量), 199

Johnson, B., 85
Jones, S., 163
Jordan, P.W., 213
Jul, S., 151

Kaasten, S., 163, 208
Kadmon, N., 115
Kappe, F., 229
Keim, D.A., 9
Keyhole, Web browsing through (锁眼, 基于锁眼的网页浏览), 206-216
Kirsch, D., 199
Komlodi, A., 121
Krebs, J.R., 160

Lalanne, D., 169
Lam, K., 121, 252
Lamping, J., 89, 223
landscape representation (风景描述), *221*
Lanning, T., 203, 251
law enforcement applications (法律强制执行应用), 11, 74-75
LCD display coffee table (带LCD 显示屏的咖啡桌), 138-139
leaf node (叶子结点), 84
Lehmann, O., 245
Leung, Y.K., 105, 106
Levy, E.I., 123, 129
Lewis, D., 151
Lewis, M., 102
Li, Q., 64
Library of Congress, representation by hyperbolic browser (双曲线浏览器表示的美国国会图书馆), *91*, *222*
limit positioning tool (限制条件定位工具), 154
Lindner, H.-G., 205
lines (线条)
relations represented by (线条表示关系), 72-79
width (宽度), 1, 29
link previews (in Web browser), sequential presentation of ((网页浏览器) 关联预览, 顺序表示), 208, *209*
linked histograms (关联直方图), 37-38, *41*, 61-65
'live stream' display ("实时流" 显示), 169, *170*
Living Memory coffee table (实时记忆咖啡桌), 138
video illustrating (演示视频), 254
location breadcrumb trails (位置历史信息跟踪), 165-166

logical association (逻辑关系), 71, 79, 81
London Underground map (伦敦地铁地图), 3-5, 29, 30, 54-55, 75-77
 distorted presentation of (变形表示), 106, *170*

Ma, K.-L. 69, 70, 149
MacOSX system (MacOSX 操作系统), 109, *110*, 128
MacEachren, A.M., 13n
Macedo, S., 254
McGill, R., 52, 54, *55*
McGuffin, M., *109*, 129
Mackinlay, J., 51, 52, 54-56, 109, 189, 244, 249
magic lens (魔术透镜), 113-114
magnification encoding (放大编码), 42, *43*
Malik, Z., 256
Malone, T.W., 97
maps (地图), 1-2, 3-5, 29, 30, 54-55
 geographical (地理地图), 101-103, *110*, 113-114
 see also cluster maps; tree maps (见族群图；树图)
Marchionini, G., 121
median values (中值), 34
mental models (心理模型), 10, 18, 145, 177-178
 visual momentum for (视觉冲量), 180
metaphorical icons (隐喻式图标), 66-69
Microsoft Internet Explorer, pocket version (微软IE浏览器，手持版本), 213-215
military exercise, communication analysis (军事训练，通信分析), 217-219
Miller, T., 69, 243
Minard's map (Minard 地图), 1-2, 29, 54, 55, 136-137, 139-140
MIND system (MIND系统), 217-220
 components (部件), 218-219
 exploratory analysis in (探索式分析), 217-218
MINNIE CAD system, videos illustrating (MINNIE CAD系统，演示视频), 239-240
Mitta, D.A., 113
mixed mode of image presentation (混合型图像表示模式), 124
 video illustrating (演示视频), 253
mobile phone (手机)
 presentation of photographs on (照片表示), *108*, 109
 representation of attributes (属性描述), 49, *50*
 Web browsing on (网页浏览), 121, 206-216
Model Maker interface (Model Maker 界面), 161, *162*
 video illustrating (演示视频), 256
Moller, T., 13
Moreno, J.L., 77
Morin, M., 65, 217
Morris, C.J., 68
mortgage fraud (抵押诈骗), 11, 72-73, *74*
mosaic plots (马赛克图标), 65-66, *67*
mouse-over actions (鼠标悬停动作), 22, 83, 144, *145*
moving displays (活动显示), 169-172
Moyes, J., 213
multidimensional icons (多维图标), 68, 69
MultiNav query system (MultiNav查询系统), 203-204
 usability issues (可用性问题), 204-205
multiple attributes (多属性), 20
multiple 'pop-outs' (多“醒目”), 49, *50*
multivariate data (多变量数据)
 representation of (描述), 56-70
 videos illustrating (演示视频), 258
Munro, A.J., 156

Napoleon's march to/from Moscow [map] (拿破仑东征莫斯科及撤退[地图]), 1-2
naval operations (海事行动), 119
navigation (定位), 24-25, 25-26, 150-151, 235
 social (社会定位), 156
 videos illustrating (演示视频), 252-253, 259-260
navigational aids, RSVP Browser (定位帮助，RSVP浏览器), 211, 212
navigational cues (定位线索), 151, *152*, *153*, 167, 207-208
navigational guidance (定位指导), 24-25, 167
 proportion of screen area devoted to (分配给定位的屏幕区域比例), 167
Neighbourhood Explorer (邻居浏览器), 204, 205
Nelder, J., 256

networks (网络), 84
'New Yorker's View of the World' ("从纽约人的视角看世界"), 109, 111
news item selection (新对象选择), 207
newspaper articles collection, exploration and searching of (新闻报道库及其探索与查找), 220, 223-228
Newton, C.M., 144
Nielsen, J. 153, 162, 167
Nightingale, Florence, 2, 29
node-link diagrams (结点连接图表), 72-79, 218, 219
non-quantitative data, encoding of (非量化数据及其编码), 54-56
Norman, D.A., 140n, 142, 152&n
Norman, K.L., 158
Norman' Action Cycle (Norman行动周期), 142-144
 action-execution step (动作执行步骤), 143, 144-145
 action-plan-formulation step (动作计划形成步骤), 143, 144
 applications, in continuous interaction (在连续式交互中的应用), 144-147
 'change in world/view' ("世界/视图变换"), 177
 evaluation step (评估步骤), 143, 146
 Gulf of Evaluation (评估海湾), 142, 143-144
 Gulf of Execution (执行海湾), 142-143
 intention-formulation step (意图形成步骤), 142-143, 144
 interpretation step (解释步骤), 143, 145-146
North, C., 64
numbers, collection of (数字, 数字集合), 34-35
numerical data (数值型数据), 5

object (对象), 17
object correlation (对象相关性), 70, 147
object visibility (对象可见性), 59, 66, 69, 236
Oldfield, T., *114*
online buying (在线购物), 121, 204
opportunistic browsing (随机式浏览), 141, 168, 235
 video illustrating (演示视频), 254
optimization algorithms (优化算法), 170, 171, 257
 monitoring progress of (过程监控), 170-171
video illustrating (演示视频), 256-257
ordinal data (类别型数据), 5, 35
 encoding of (编码), 54-56
 representation of (描述), 36
organization tree (组织树), 111
Ort, Sheldon, 12
Ovenden, M., 75
overview (总图), 18, 19, 236
overview+detail (总图+细节), 99-103

page-flipping/riffling analogy (翻页模拟), 120, 121, 252
palettes, interaction designer (调色板, 交互设计师), 91, 92, 130, *131*, 180, *181*
panning (平移), 117
 combined with zooming (同缩放结合), 117-118
 video illustrating (演示视频), 250-251
parallel bargrams (平行条形图), *20-23*, *25*, 199, *200*
parallel coordinate plots (平行坐标图), 56-59, 70
parameters (参数), 173
 performance influenced by (性能影响), 173-177
Parr, M., 68
passive interaction (被动式交互), 140-141, 167-172
path breadcrumb trails (路径历史信息跟踪), 163-164, *165*
 first example (首个例子), 166
perception (感知), 27, 31
performance (性能), 173
 effect of parameters (参数效应), 173-177
personal digital assistants (PDAs) (个人数字助手(PDA))
 browsing of photographs (照片浏览), 109
 calendars (日历), 107, *108*, 187-196
 control buttons used in RSVP Browser (RSVP浏览器中的控制按钮), 212
 maps (地图), *109*
 video illustrating (演示视频), 247-248
 Web browsing on (网页浏览), 206-216
perspective wall (透视图), 109, *110*
 video illustrating (演示视频), 249-250
perusal *see* browsing (细读, 见浏览)
pharmaceutical industry applications (制药业应用), 7, 8, 12

Pirolli, P., 160
Plaisant, C., 189
pliable display (interactive table) (可折显示屏（交互式桌面）), 109, *110*
 video illustrating (演示视频), 248
Pocket IE, compared with RSVP Browser (Pocket IE 和RSVP浏览器的比较), 213-215
Pocket PC calendar, compared with FishCal calendar (Pocket PC日历和FishCal日历的比较), 193
pocket PCs (便携式PC)
 web browsers for (网页浏览器), 213-216
 see also personal digital assistants (PDAs) (见个人数字助手（PDA）)
'pop-outs'（"醒目"）, 46, 47-51, 56
 animation of (动画), 50-51, 147-149
 dynamically triggered (动态触发的), 50-51, 147-149
 multiple (多个), 49, *50*
population densities, representation of (人口密度及其描述), 42, *43*
Potter, M., 130, 168, 172
Potter, M.C., 123, 129, 130
pre-attentive processing (下意识处理), 47-51, 236
present, definition (表示及其定义), 98, 236
presentation of data (数据表示), 14, 17-18, 22, 23, 24, 25, 97-135
presentation time (表示时间), 123
product failure (产品失效), 46
prosection (剖析), 176-177
prosection matrix (剖析矩阵), *176*, 177
 video illustrating (演示视频), 257-258
protein representation (蛋白质描述), 105, 114
Pu, P., 169
pursuit (追踪), 151, 236

qualitative representation, video illustrating (定性描述，演示视频), 239-240
quantitative data (量化数据), 5
 encoded, accuracy of judgment (编码，判定精度), 54, 55
 encoding of (编码), 54-56

Rankin, P.R., 256
Rao, R., 89, 105, 168, 188, 223
rapid serial visual presentation (RSVP) (快速序列视觉表示（RSVP）), 120-123
 collage RSVP (拼接图RSVP), 121, *122*, 128
 floating RSVP (悬浮RSVP), 121, *122*, 128
 video illustrating (演示视频), 251
 rate of image representation in (图像表示速度), 123
 slide-show mode (幻灯片模式), 120, 124, 208, 209
 video illustrating (演示视频), 253
 tile mode (堆模式), 120, 124
 videos illustrating (演示视频), 253
 use in Web browser (网页浏览器应用), 208-215
 videos illustrating (演示视频), 251-253, 259-260
 see also image presentation; RSVP Browser (见图像表示；RSVP浏览器)
Raymond, J.E., 126n, 130
'Really Useful Map'（"确实有用的地图"）, *115*
rearrangement of presentation of data (数据表示的重排), 8, 17
recommender-generated sensitivity (推荐产生的敏感度), 156
references listed (参考文献列表), 261-271
 for case studies (案例分析), 196, 206, 216, 220, 229-230
relation(s) (关系), 19, 20, 21, 30
 definition (定义), 71
 encoding of (编码), 71-91
 representation of (描述)
 by lines (线条描述), 72-79
 by maps and diagrams (地图和图表描述), 79-83
 by tree representation (树描述), 83-91
relationships (关系), 6, 19
Rensink, R.A., 10, 32, 146, 179
represent, definition (描述，定义), 29, 236
representation of data (数据描述), 14, 18, 24, 26, 29-96
residue (残留物), 156-159
 meaning of term (术语), 236
 relation to scent and sensitivity (和气味及敏感度的关系), *160*

resource box (资源盒), 123, *124*
retinal variables (视网膜变量), 53
retreat (撤退), 151, 163
revisitations (重访), 163
ring (moving) mode of image presentation (环形（活动）图片表示模式), *124*, 125
 video illustrating (演示视频), 253
Robertson, G.G., 85, 177, 187, 244, 249
root node (in tree) (（树的）根结点), 84
'rose-petal' diagram ("玫瑰花瓣"图表), *2*
Rosenholtz, R., 116
Rowe, T., 12
RSVP Browser (RSVP浏览器), 209-212
 compared with Pocket IE (和Pocket IE的比较), 213-215
 evaluation of (评估), 213-215
 link preview mode (链接预览模式), 209, *211*
 navigational aids (定位帮助), 211, 212
 page mode (页模式), 209, *211*
 system design (系统设计), 210-212
 video illustrating (演示视频), 259-*260*
 see also rapid serial visual presentation (RSVP) (见快速序列视觉表示（RSVP）)
rubber sheet distortion technique (橡皮变形技术), 115
 video illustrating (演示视频), 249
Ryall, K., 109

saccades (扫视), 125-126, 236
 change blindness during (扫视过程中的变化盲视), 179
safety-critical activities, command and control of (对安全性要求很高的活动中的命令和控制), 216-217
safety-critical applications (对安全性要求很高的应用), 31-33, 179
Sanderson, P., 34
Savage, J., 118, 250
scatterplot (散点图), 30, *31*, 36-37, 56, *57*
scent (气味), 159-162, 236
 relation to residue and sensitivity (和残留物及敏感度的关系), *160*
scent evaluation (气味评估), 160-162
 encoding to support (支持气味评估的编码), 162
scholastic achievements (学术成就), 56, 59, *60*
Schon, D.A., 17
scientific visualization (科学可视化), 12
scope of interest (感兴趣范围), 111, *112*
scrolling (滚动), 98, *99*
 disadvantages (不足之处), 99, 116
search (查找), *236*
 in PDA calendar (在PDA日历中查找), 192
'see and go' approach ('先看后走'方法), 155, 168, 186
'see-through' tools ("看穿"工具), 114
'see what's there' ("看看那里有什么"), 120
selecting one object from many (case study) (从多个对象中选取一个对象（案例分析）), 197-206
selective retreat (选择性回退), 163, 166, 167
semantic zoom (语义缩放), 40, *42*, 119, 223, 224
 compared with geometric zoom (和几何缩放比较), 119
 video illustrating (演示视频), 260
semi-qualitative representation (半定性描述), 18
sensitivity (敏感度), 24, 151-156, 237
 relation to residue and scent (和残留物及气味的关系), *160*
sensitivity information (敏感度信息), 24, 153-154
 computation of (计算), 155
 videos illustrating (演示视频), 239-240, 243
sensory interaction see passive interaction (感知交互，见被动式交互)
Serious Fraud Office (严重诈骗罪案办公室), 11
Shen, C., 248
ship availability (可用船只), 119
Shlomi, E., 115
Shneiderman, B., 20, 37, 60, 85, *87*, 144, 154, 189, 198, 201
SI encoding (SI编码), 152, 153, 202
significant objects (显著对象), 21
Siirtola, H., 58, 59, 69
silicon chip (芯片)
 design (设计), 56
 manufacture (制造), 11
Simon, H., 6, 29

Simons, D.J., 10, 179
single number, representation of (单个数值及其描述), 31-34
size encoding (大小编码), 9, 46, *47*, 51, 56, 147
 videos illustrating (演示视频), 256-257
size representation in qualitative understanding (定性理解的面积描述), 41-42, *43*
'slice-and-dice' construction of tree map (树图的"切片和骰子"建立法), 86-87
slide-show mode of image presentation (图像描述的幻灯片模式), 120, 124, 186
 video illustrating (演示视频), 253
SM encoding (SM编码), 152, 153, 154, 156, 202
Smartmoney.com website (Smartmoney.com 网站), 87, *88*
Smith, A.J., 161, 256
Smith, D., 42, *43*
Snow, Dr John (John Snow医生), 3, 29
Snowberry, K., 157, 158, 166
social navigation (社交定位), 156
social network analysis (社交网络分析), 77-78, *77-79*
Sion, R.S., 177
sound (声音)
 encoding of data by (数据的声音编码), 34
 videos illustrating (演示视频), 241-242
space limitations (空间局限性), 22-23, 98-120
space-scale diagrams (空间刻度图表), 117-118
space-time trade-off (空间和时间的平衡), 121
 videos illustrating (演示视频), 252-253, 259-260
Spatial Data Management System (SDMS) (空间数据管理系统 (SDMS)), 119
Spence, R.
 case studies (案例分析), 188, 197, 198, 204
 on interaction (交互), 139, 140, 147, 155, 173, 176, 177
 on presentation (表示), 103, 107, 120, 121
 on representation (描述), 9, 39, 61, 68
 videos (视频), 239, 240, 241, 242, 243, 246, 252, 253, 254, 255, 256, 257
spiral calendar (螺旋形日历), *190*
SPIRE document exploration/searching tool (SPIRE文件探索/查找工具), 221, *222*
Spoerri, A., 81
Spotfire visualization tool (Spotfire 可视化工具), *7*, 8, 154, 186
star plots (星形图), 59-60, 69
Stasko, J., 69, 109, 207, 243, 245, 250, 258
State of the World Atlas, 42, *43*
Stathis, K., 138, 254
static displays (静态显示), 137, 167-168
Stephens, D.W., 160
stepped interaction (渐进式交互), 137, *141*, 149-167
 in discrete information spaces (离散空间内的渐进式交互), 149-150
Stock, D., 67
Stone, M., 114
stream (moving) mode of image presentation (图像表示的流 (运动) 模式), *124*, 125
 video illustrating (演示视频), 253
structural stresses (结构压力), 147, *148*
 video illustrating (演示视频), 255
structure (结构), 30
Su, H., 147n, 255
Sun, L., 121
suppression of data in presentation (数据表示中的抑制), 22, 23, 109, 111-114, 237
 applications (应用), 113-114, 186, 188, *190*
 videos illustrating (演示视频), 247-248, 249
surgical operation, representation of data (外科手术, 数据描述), 34
Sutherland, I.E., 144
Sutton, J., 188
Swedish Defence Research Agency (瑞典国防研究局), 64, 217

table lens (表格透镜), 105, *106*, 188-189
table presentation (表格表示), 17
Tables technique (Tables技术), 198
tagging (标记), 21, 201
Tahir, M., 153, 167
task (任务), 16
Tauscher, L., 163, 212
'tectonic' calendar ("建筑" 日历), 188, *190*
Telescope browser (望远镜浏览器)
 compared with Tree Viewer (和树浏览器比较),

229
see also InfoSky visualization tool (见InfoSky可视化工具)
Teoh, S.T., 69, 70, 149
themescape representation (themescape描述), *222*
three-dimensional (3D) representation (三维（3D）描述), 42, 44-46
thumbnails (缩略图), 207-208
tile mode of image presentation (图像表示的堆模式), 120, 124
video illustrating (演示视频), 253
TileBars interface (平铺条形图界面), 53-54 56
time limitations (时间局限), 120-130
time series, representation of (时间序列及其描述), 37, *38*
'time tunnel' (moving) mode of image presentation (图片表示的“时间隧道”（活动）模式), *124*, 125
timeline style chart (时间线风格图表), 75
Titanic disaster (泰坦尼克号事件), 65-66, *67*
Tong, C.H., *121*, 208, 259
Tory, M., 13
tree (树), 84, 237
see also cone tree (见锥形树)
tree maps (树图), 85-89
advantage (优点), 87
applications (应用), 87-88
disadvantages (缺点), 86, 87
video illustrating (演示视频), 245-246
tree representations (树的描述), 83-84
Tree Viewer (树视图), *228*
compared with Telescope browser (和望远镜浏览器比较), *229*
trivariate data, representation of (三变量数据及其描述), 42-56
Tse, T., 121
Tufte, E.R., *1*, 3, 6n, 34
Turkey box plot (Turkey箱形图), 34, *35*
TV purchasing (购买电视), 203-204
Tweedie, L., 39, 61, 173, 176, 198, 242, 243, 255, 257
Tweedie, L.A., 30, 140
univariate data, representation of (单变量数据及其描述), 31-36
usability studies (可用性研究), 182
PDA calendar (PDA日历), 193-196

value (数值), 30
encoding of (编码), 31-70
bivariate data (双变量数据), 36-42
hypervariate data (超变量数据), 56-70
trivariate data (三变量数据), 42-56
univariate data (单变量数据), 31-36
Varakin, D.A., 179
Venn diagrams (韦恩图), 79-80
videos illustrating (演示视频), 244
video editing (视频编辑), *100*
video-on-demand (视频点播), 121, *122*
video illustrating (演示视频), 252
videos (视频), 238-260
Attribute Explorer (属性浏览器), 242-243
bifocal displays (双焦电视), 246-247
combined zoom and pan (缩放和平移的结合), 250-251
cone tree (锥形树), 244-245
discovery via dynamic representation (基于动态描述的发现), 254-255
distorted map on PDA (PDA上的变形地图), 247-248
dust and magnet, 258
dynamic exploration of relationships (关系的动态探索), 240-241
encoding by sound-brain tumour (声音编码：脑瘤), 241
flip-zoom on mobile (手机上的翻转缩放), 247
floating RSVP (悬浮RSVP), 251
FundExplorer (基金浏览器), 245-246
human guidance of automated design (自动设计的人为指导), 256-257
image browsing (图片浏览), 252
image presentation modes (图片表示模式), 253
Influence Explorer (影响力浏览器), 255
InfoCanvas, 243-244
InfoSky visual explorer (InfoSky视觉浏览器), 260

interactive Venn diagram (交互式韦恩图), 244
Model Maker, 256
navigation via small display (小显示区域内的定位), 252-253
opportunistic browsing with coffee table (咖啡桌上的随机式浏览), 254
perspective wall (透视图), 249-250
pliable display technology on table (可折桌面显示技术), 248
prosection matrix (剖析矩阵), 257-258
qualitative representation (定性描述), 239-240
RSVP Browser (RSVP浏览器), 259-260
rubber sheet map distortion (橡皮地图变形), 249
sunburst, 250
visualization 2020AD (2020年的可视化), 241-242
visibility (可见性), 59
see also attribute visibility; object visibility (见属性可见性；对象可见性)
visual interaction *see* passive interaction (视觉交互，见被动式交互)
visual momentum (视觉冲量), 180
visual perception (视觉感知), 27
visualization (可视化)
definition (定义), 5-6
early examples (早期实例), 1-5
taxonomy (术语), 12-13
visualization tool(s) (可视化工具), 8, 12, 25, 35, 237
visualize, meaning of term (可视化及其术语), 237

Waddington, R., *8*
Ware, C., 11, 27, 47, 48, 68, 102, 146, 235
Watson, C.J., 67
Watson, M., 34
Watts, J.C., 24, 151
wayfinding (寻路), 151, 237
Web browsing (网页浏览)
revisitations (重访), 163
selective retreat (选择性回退), 163, 166, 167
through keyhole [case study] (基于锁眼的网页浏览[案例分析]), 206-216
problem (问题), 207-208
solution (解决方法), 208
task (任务), 206
see also RSVP Browser (见RSVP浏览器)
Wegman, E.J., 56
Westphal, C., 9, 73
'what if?' ("如果……怎样？"), 9, 137-138, 139, 154
'what lies beyond?' ("周围有什么？"), 156
'what's there?' ("那里有什么？"), 141
'where am I?' ("我现在在哪里？"), 162-167
'where can I go (from here)' ("我（从这里）能到哪里去"), 150, 151, 160, 212
'where have I been?' ("我已经到过哪里？"), 151, 163
'where was I?' ("我刚才在哪里？"), 98
Wildbur, P., 153
Williamson, C., 144, 154
Wise, J.A., 221
Witkowski, M., 253
Wittenburg, K., 18n, 25, 35, 121, 125, 150, 155, 196, 197, 205, 251
Woodruff, A., 207
Woods, D., 180
Woods, D.D., 24, 151
World Wide Web (万维网)
browsing through keyhole (基于锁眼的网页浏览), 206-216
as information space (如同信息空间), 139
interaction modes (交互模式), 140
revisitations (重访), 163
Wright, H., 169

X-distortion (*X*方向上的变形), 105-106, *107*, 188

Y-distortion (*Y*方向上的变形), 106, *107*, 188
Yi, J.S., 199, 258
'you are here' sign ("你的当前位置"标识), 101

Zhang, E., 109, 250
zooming (缩放), 117, 118-120
combined with panning (和平移相结合), 117-118
video illustrating (演示视频), 250-251
geometric (几何缩放), 117, 118-119
semantic (语义缩放), 40, *42*, 119, 223, 224
video illustrating (演示视频), 260

华章计算机科学丛书经典推荐



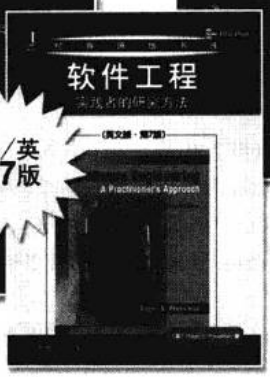
深入理解计算机系统（原书第2版）
(美) Randal E. Bryant 著
David R. O'Hallaron
ISBN 978-7-111-32133-0
定价：99.00元



深入理解计算机系统（英文版第2版）
(美) Randal E. Bryant 著
David R. O'Hallaron
ISBN 978-7-111-32631-1
定价：128.00元



软件工程：实践者的研究方法（原书第7版）
(美) Roger S. Pressma 著
ISBN 978-7-111-33581-8
定价：79.00元



软件工程：实践者的研究方法（英文版第7版）
(美) Roger S. Pressma 著
ISBN 978-7-111-31871-2
定价：75.00元

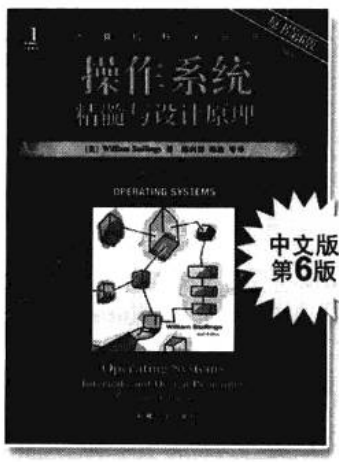




软件工程：面向对象和传统的方法（英文版第8版）
(美) Stephen R. Schach 著
ISBN 978-7-111-34196-3
定价：79.00元

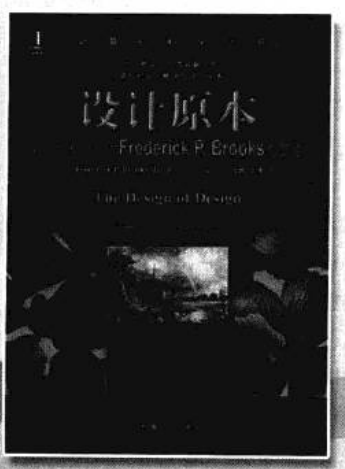


计算机组织与结构：性能设计（原书第8版）
(美) William Stallings 著
ISBN 978-7-111-32878-0
定价：79.00元



操作系统：精髓与设计原理（原书第6版）
(美) William Stalling 著
ISBN 978-7-111-30426-5
定价：69.00元

- Stallings，大师级的人物，涉猎计算机安全、网络、体系结构等多方面，堪称计算机界的全才。
- 本书是其经典著作之一，得到全球计算机教育界和工程技术人员的好评！
- 以当代最流行的操作系统—Windows Vista、UNIX和Linux为例，全面清楚地展现了当代操作系统的本质和特点，具有先进性和适应性。



设计原本 ISBN 978-7-111-32557-4 定价：55.00



Java语言程序设计 基础篇（原书第8版）
(美) Y. Daniel Liang 著
ISBN 978-7-111-34081-2
定价：75.00元

Java语言程序设计 进阶篇（原书第8版）
(美) Y. Daniel Liang 著
ISBN 978-7-111-34236-6
定价：79.00元

教师服务登记表

尊敬的老师：

您好！感谢您购买我们出版的_____教材。

机械工业出版社华章公司为了进一步加强与高校教师的联系与沟通，更好地为高校教师服务，特制此表，请您填妥后发回给我们，我们将定期向您寄送华章公司最新的图书出版信息！感谢合作！

个人资料（请用正楷完整填写）

教师姓名		□先生 □女士	出生年月		职务		职称：□教授 □副教授 □讲师 □助教 □其他
学校			学院			系别	
联系电话	办公： 宅电： 移动：			联系地址及邮编			
				E-mail			
学历		毕业院校		国外进修及讲学经历			
研究领域							

主讲课程	现用教材名	作者及出版社	共同授课教师	教材满意度
课程： □专 □本 □研 人数： 学期：□春□秋				□满意 □一般 □不满意 □希望更换
课程： □专 □本 □研 人数： 学期：□春□秋				□满意 □一般 □不满意 □希望更换

样书申请			
已出版著作		已出版译作	
是否愿意从事翻译/著作工作 □是 □否		方向	
意见和建议			

填妥后请选择以下任何一种方式将此表返回：（如方便请赐名片）

地 址：北京市西城区百万庄南街1号 华章公司营销中心 邮编：100037

电 话：(010) 68353079 88378995 传真：(010)68995260

E-mail:hzedu@hzbook.com marketing@hzbook.com 图书详情可登录http://www.hzbook.com网站查询